



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI
PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER*
KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR
JACKET BANGUNAN LEPAS PANTAI**

**Febri Heru Purnomo
NRP 4112100029**

**Dosen Pembimbing
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi., MSc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI
PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER*
KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR
JACKET BANGUNAN LEPAS PANTAI**

**Febri Heru Purnomo
NRP 4112100029**

**Dosen Pembimbing
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN 141581

***TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF ROBOTIC
WELDING COMBINATION WITH CONVENTIONAL
WELDER ON PIPE JACKET STRUCTURE OF OFFSHORE***

**Febri Heru Purnomo
NRP 4112100029**

**Supervisor
Ir. Triwilaswadio Wuruk Pribadi., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER* KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR *JACKET* BANGUNAN LEPAS PANTAI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Industri Perkapalan
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FEBRI HERU PURNOMO

NRP. 4112 100 029

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:
Dosen Pembimbing



Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.

NIP. 19610914 198701 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JULI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER* KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR *JACKET* BANGUNAN LEPAS PANTAI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 4 Juli 2017

Bidang Keahlian Industri Perkapalan

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FEBRI HERU PURNOMO

NRP. 4112 100 029

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

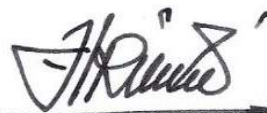
1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc

2. Sri Rejeki Wahyu Pribadi., S.T.,M.T.

3. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc



SURABAYA, JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT, Atas segala karunia dan ridho-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER* KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR *JACKET* BANGUNAN LEPAS PANTAI” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Triwilaswandio W.P, M.Sc selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.
3. Bapak Teguh Putranto ST, M.T selaku Dosen Wali yang selalu memberikan motivasi pada proses Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS, khususnya pada bidang keahlian Industri Perkapalan yang senantiasa membantu.
5. Orang tua tercinta Bapak saya Alm Bpk Sukardi yang selalu menginspirasi saya, dan Ibu Saya Nurwidayati yang senantiasa selalu mendoakan dan mendukung baik secara moril maupun material yang tiada terkira hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini dengan baik. Kepada adik saya Moch Risky Tri Yulianto dan Kakak saya Evi Rahayu Krisnasari yang telah mendukung saya
6. Pak Aziz dan Pak Afif selaku Koordinator Mahasiswa Tugas Akhir di PT. PAL
7. Pak Pardi dan teman di Laboratorium Teknologi dan Produksi Manajemen Perkapalan yang selalu mendukung saya
8. Teman-teman FORECASTLE P-52, khususnya teman seperjuangan Tugas Akhir bidang keahlian Industri Perkapalan dan CENTERLINE P-51 atas dukungannya.
9. Semua pihak yang telah mendukung atas dapat diselesaikannya tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak untuk memajukan industri maritim.

Surabaya, 17 Juli 2017

Febri Heru Purnomo

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMBINASI PENGELASAN *ROBOTIC WELDING* DENGAN *WELDER* KONVENSIONAL PADA SAMBUNGAN PIPA STRUKTUR *JACKET* BANGUNAN LEPAS PANTAI

Nama Mahasiswa : Febri Heru Purnomo
NRP : 4112 100 029
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi M.Sc

ABSTRAK

Tujuan dari tugas akhir ini adalah melakukan analisa secara teknis dan ekonomis untuk penggunaan robot pada struktur jacket bangunan lepas pantai. Penelitian diawali dengan observasi terhadap proses pengelasan konvensional. Lalu dilakukan analisis secara teknis mengenai penggunaan robot pengelasan dan welder konvensional. Selanjutnya dilakukan analisa perbandingan nilai ekonomis penggunaan robot pengelasan dalam industri bangunan lepas pantai. Dengan hasil sebagai berikut : 1) Pengurangan biaya, 2) Produktivitas tinggi, 3) Kualitas tinggi, 4) Produk yang fleksibel. Secara teknis penggunaan robot pengelasan mampu melakukan pengelasan pada joint brace tipe K, T, Y, dan X pada struktur jacket dengan kecepatan 2 kali lebih cepat daripada pengelasan konvensional. Hasil analisa ekonomis proses pengelasan konvensional digantikan dengan pengelasan menggunakan mesin las robot dalam satu proyek didapatkan total biaya operasional dalam satu proyek selama satu tahun sebesar Rp 1.181.000.000 sedangkan penggunaan pengelasan konvensional mengeluarkan biaya operasional sebesar Rp Rp 2.114.610.065. sehingga biaya pengelasan dapat dihemat sebesar 44% atau Rp. 933.566.020,- dari biaya operasional pengelasan konvensional. Pendapatan dari penghematan proyek lain yang diestimasi sebesar 50% dari penghematan pengelasan robot yaitu sebesar Rp 466.783.010. Total biaya investasi yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk pengadaan 3 unit las robot adalah Rp 6.903.596.000,- dengan pay back period tahun ke-7 bulan ke-1.

Kata kunci : Analisa Teknis, Analisa Ekonomis, Pengelasan Konvensional, *Robotic Welding*, Struktur *Jacket*.

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF ROBOTIC WELDING
COMBINATION WITH CONVENTIONAL WELDER ON PIPE *jacket* STRUCTURE
OF OFFHORE**

Author : Febri Heru Purnomo
ID No. : 4112 100 029
Dept. / Faculty : Naval *Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology*
Supervisors : Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc

ABSTRACT

The main objective of this final project is to analysis the technical and economical from aplication of robotic welding for *jacket* structure on offshore. Firstly, conventional welding process was observed. Secondly, technical analysis of using the combination of robotic welding and conventional welder was done. Thirdly, economical analysis of robotic welding and conventional welder. Thirdly, economical analysis of robotic welding aplication was done. The result are : 1) Cost reduction, 2) High productivity, 3) High quality, 4) Flexible product. Technically, welding robot is capable of welding on a *joint brace* type K, T, Y, dan X on a *jacket* structure at speeds 2 times faster than conventional welding. From the economic analysis of conventional welding process replaced by robotic welding, obtained the total operational cost for one project in one year which is equal to Rp. 1.181.000.000 while the total operational cost on conventional welding is equal. So welding costs can be saved by 44% or Rp. 933.566.020, - of conventional welding operational costs. Revenues from other project savings are estimated at 50% of robotic welding saving that is equal to Rp 466,793,010,-. Total investment cost incurred by the company for the procurement of 3 unit of robotic welding is Rp 6.903596.000,-, with payback period in 7 years and 1 month.

Keywords: Technical Analysis, Economic Analysis, *Jacket* Structure, Conventional Welding, Offshore Platform, Robotic Welding.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang Masalah	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan.....	3
I.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Hipotesis	4
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1 Robot Pengelasan	5
II.1.1 Pengertian Robot Las	5
II.1.2 Bagian-bagian Penyusun dan Cara Kerja Mesin Robot Las	7
II.1.3 Bagian-bagian Manipulator	10
II.1.4 Bagian-bagian <i>Control Unit</i>	11
II.1.5 Bagian-bagian Komponen Penunjang Mesin Las Robot	13
II.2 Gambaran Umum Struktur <i>Jacket</i> Bangunan Lepas Pantai.....	17
II.3 Pengelasan Robot Pada Struktur <i>jacket</i>	18
II.4 Investasi	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1 Tahap Identifikasi.....	26
III.2 Perumusan Masalah.....	26
III.3 Penentuan Tujuan Penelitian	26
III.4 Survey Lapangan.....	26
III.5 Analisa Data	27
III.6 Tahap Analisa Teknis dan Ekonomis Pengelasan Robot	27

III.7	Kesimpulan dan Saran.....	27
III.8	Diagram Alir	28
BAB IV PROSES PENGELASAN KONVENSIONAL STRUKTUR <i>JACKET</i> BANGUNAN LEPAS PANTAI		31
IV.1	Kondisi Pengelasan	31
IV.2	Teori Pengelasan Konvensional	32
IV.3	Penggunaan dan Pengembangan Teknologi Las Saat Ini.....	34
IV.4	Teknologi Pengelasan Konvensional	38
IV.4.1	Jenis-jenis Pengelasan Listrik	38
IV.4.2	Ketrampilan <i>Welder</i>	43
IV.4.2	Faktor yang mempengaruhi kualitas las	45
IV.4.4	<i>Spesification Platform</i>	47
IV.5	Dimension Detail Material <i>Pipe jacket</i> Structure HCML Project.....	52
IV.6	Tahap-tahap Instalasi <i>Fit-up</i> dan Pengelasan Konvensional Pada Struktur <i>Jacket</i> 55	
IV.7	Penentuan Jumlah Fasilitas Produksi Mesin Las Konvensional	63
BAB V PROSES PENGELASAN MESIN LAS ROBOT PADA STRUKTUR <i>JACKET</i>		67
V.1	Implementasi Robot Pengelasan	67
V.2	Komponen Mesin Las Robot	69
V.2.1	Mesin Robot Las dan Spesifikasinya.....	69
V.2.2	<i>Railway Slider</i> Pada Mesin Las Robot	70
V.2.1	Fungsi <i>Jig</i> Pada Mesin Las Robot	71
V.3	Cara Memprogram Mesin Las Robot	73
V.4	Konsep <i>Building Sequence</i> Penggunaan Mesin Las Robot Pada struktur <i>jacket</i>	75
V.5	Penentuan Jumlah Fasilitas Produksi Mesin Las Robot	80
BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN		83
VI.1	Pengembangan Mesin Las Robot Pada Pengelasan Struktur <i>jacket</i>	83
VI.2	Analisa Teknis.....	83
VI.2.1	Perbandingan Waktu Pengelasan	84
VI.2.2	Kualitas Pengelasan.....	95
VI.3	Analisa Ekonomis	97
VI.3.1	Perbandingan Investasi Peralatan dan Permesinan	97
VI.3.2	Perbandingan Penggunaan Biaya Listrik	98
VI.3.3	Perbandingan Biaya Pemeliharaan.....	99

VI.3.4 Perbandingan Biaya Pengelasan Untuk Satu <i>Joint</i>	100
VI.3.5 Perbandingan Biaya Pengelasan Seluruh <i>Joint</i>	101
VI.3.6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja Langsung	103
VI.3.7 Selisih Biaya Operasional Penggunaan Mesin Las Robot	104
VI.3.8 Perhitungan Pendapatan Lain- Lain	105
VI.3.9 Analisa Kelayakan Investasi	106
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	109
VII.1 Kesimpulan.....	109
VII.2 Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....	111
LAMPIRAN	113
LAMPIRAN A.....	114
LAMPIRAN B.....	119
LAMPIRAN C.....	130
LAMPIRAN D.....	133

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Gambaran Umum Robot Pengelasan	6
Gambar II. 2 Skema <i>Arc Welding</i> Robot.....	7
Gambar II. 3 Alur Interface	8
Gambar II. 4 <i>Flow Chart Arc Welding robot 1 cycle proces</i>	10
Gambar II. 5 Manipulator.....	10
Gambar II. 6 <i>Teach Pendant</i>	13
Gambar II. 7 Sistem (SWERS).....	15
Gambar II. 8 Robot <i>Teaching</i>	16
Gambar II. 9 <i>jacket</i> Platform HCML Project	17
Gambar II. 10 Pengelasan <i>Joint</i> Pada Struktur <i>jacket</i>	20
Gambar III. 1 Diagram Alir	29
Gambar IV. 1 Jenis Sambungan Fillet (<i>T Joint</i>).....	32
Gambar IV. 2 Jenis Sambungan Groove (<i>Butt Joint</i>).....	32
Gambar IV. 3 Macam Macam Posisi Pengelasan.....	32
Gambar IV. 4 Mesin Las 500 Amphere	39
Gambar IV. 5 <i>Welding Glove</i> /Argon Glove	39
Gambar IV. 6 <i>Welding Shielding</i> / Kap Las.....	40
Gambar IV. 7 Shielding gas/Gas pelindung	40
Gambar IV. 8 Regulator gas pelindung/ <i>Gas flowmeter</i>	41
Gambar IV. 9 Kabel dan selang gas dan perlengkapan pengikatnya	41
Gambar IV. 10 Stang las/ <i>TIG torch</i>	42
Gambar IV. 11 Elektroda <i>tungsten</i>	42
Gambar IV. 12 Kawat las/ <i>Filler metal</i>	42
Gambar IV. 13 Proses Pengelasan Pipa 5G.....	43
Gambar IV. 14 Posisi <i>Welder</i> Pipa.....	43
Gambar IV. 15 Kondisi Pengelasan Struktur <i>jacket</i>	44
Gambar IV. 16 Kualitas Hasil Pengelasan <i>Welder</i> Konvensional.....	46
Gambar IV. 17 Pandangan Atas HCML <i>Project</i>	47
Gambar IV. 18 <i>Elevation ROW B</i> HMCL <i>Project</i>	48
Gambar IV. 19 <i>Elevation ROW A</i> HMCL <i>Project</i>	49
Gambar IV. 20 <i>Elevation ROW Leg A1 dan B2</i> HCML <i>Project</i>	50
Gambar IV. 21 <i>Elevation ROW A2 dan B2</i> HCML <i>Project</i>	51
Gambar IV. 22 Persiapan Meterial dan Bahan	56
Gambar IV. 23 Membuat <i>Skid Shoc</i>	56
Gambar IV. 24 Pemasangan <i>cross beam</i> dan <i>saddle</i>	57
Gambar IV. 25 <i>Assembly Leg B1 dan Leg B2</i>	57
Gambar IV. 26 <i>Assembly Diagonal Brace</i>	57
Gambar IV. 27 <i>Assembly Middle Horizontal Framing</i>	58
Gambar IV. 28 <i>Assembly Top Horizontal Framing</i>	58
Gambar IV. 29 <i>Assembly Bottom Horizontal Framing</i>	59

Gambar IV. 30 <i>Assembly diagonal brace</i>	59
Gambar IV. 31 <i>Assembly Leg ROW A1 dan A2</i>	60
Gambar IV. 32 <i>Assembly Diagonal brace Elevation ROW A</i>	60
Gambar IV. 33 <i>Fabricated Boatlanding Framing</i>	61
Gambar IV. 34 <i>Trial Fit Boatlanding</i>	61
Gambar IV. 35 <i>Fabricated Bumper</i>	62
Gambar IV. 36 <i>Instal to Final Position</i>	62
Gambar V. 1 <i>Panel Kelistrikan Mesin Las Robot</i>	68
Gambar V. 2 <i>Operator Programmer</i>	68
Gambar V. 3 <i>Mesin Robot Las OTC Daihen 6 Axis</i>	69
Gambar V. 4 <i>Railway Slider</i>	70
Gambar V. 5 <i>Mesin Las Robot dan Jig</i>	71
Gambar V. 6 <i>Operator Programmer Robot</i>	71
Gambar V. 7 <i>JIG pada mesin las robot</i>	72
Gambar V. 8 <i>Jig dan fixture</i>	73
Gambar V. 9 <i>Flow chart pembuatan task program</i>	74
Gambar V. 10 <i>Pengelasan Brace Elevation ROW A Menggunakan Mesin Robot Las</i>	75
Gambar V. 11 <i>Elevation ROW A Dibalik Menggunakan Crane</i>	76
Gambar V. 12 <i>Pengelasan elevation ROW A leg A2</i>	76
Gambar V. 13 <i>Pengelasan Brace Elevation ROW B Menggunakan Mesin Robot Las</i>	77
Gambar V. 14 <i>Blok elevation ROW B Dibalik Dengan Menggunakan Crane</i>	77
Gambar V. 15 <i>Pengelasan elevation ROW B leg B2</i>	78
Gambar V. 16 <i>Instalasi ROW A diletakan sejajar dengan JIG</i>	78
Gambar V. 17 <i>Instalasi brace elevation 1 dan 2 pada elevation ROW A</i>	79
Gambar V. 18 <i>Grand block dibalik menggunakan crane</i>	79
Gambar V. 19 <i>Tahap terakhir penyambungan dengan mesin las robot</i>	80
Gambar VI. 1 <i>Grafik perbandingan kualitas spatter dan arus</i>	95
Gambar VI. 2 <i>Perbandingan Percikan Mesin Las Robot Dengan Konvensional</i>	95
Gambar VI. 3 <i>Hasil Pengelasan Mesin Robot Las</i>	96
Gambar VI. 4 <i>Hasil Las Robot Tanpa Percikan</i>	96

DAFTAR TABEL

Tabel IV. 1 Penggolongan Juru Las	31
Tabel IV. 2 Daftar Pengelompokan Pekerjaan Las	33
Tabel IV. 3 Data <i>Elevation ROW A</i>	52
Tabel IV. 4 Data <i>Elevation ROW B</i>	53
Tabel IV. 5 Data <i>Elevation ROW 1 dan 2</i>	53
Tabel IV. 6 Data Elevasi <i>ROW A & B (Horizontal)</i>	54
Tabel IV. 7 Elevasi <i>ROW A1 & A2 (Horizontal)</i>	54
Tabel IV. 8 Elevasi <i>ROW B1 & B2 (Horizontal)</i>	55
Tabel IV. 9 Jumlah Mesin Las di Bengkel Fabrikasi Pipa	64
Tabel IV. 10 Jumlah Mesin Las di Bengkel <i>Assembly</i>	65
Tabel IV. 11 Jumlah Mesin Las di Bengkel <i>Erection</i>	66
Tabel V. 1 Jumlah Mesin Las Robot Pada Bengkel <i>Assembly</i>	81
Tabel V. 2 Jumlah mesin Las Robot Pada Bengkel <i>Erection</i>	82
Tabel VI. 1 Durasi Pengelasan Pada Bangunan <i>Elevation ROW A</i>	85
Tabel VI. 2 Durasi Pengelasan Pada Bangunan <i>Elevation ROW B</i>	86
Tabel VI. 3 Durasi Pengelasan Pada Bangunan <i>Elevation ROW 1 & 2</i>	87
Tabel VI. 4 Durasi Pengelasan Pada <i>Horizontal brace ROW A & B</i>	87
Tabel VI. 5 Durasi Pengelasan Pada <i>Horizontal Brace</i> Lurus 90 <i>Leg B1 & B2</i>	88
Tabel VI. 6 Durasi Pengelasan Pada <i>Horizontal Brace Joint Leg A1 & A2</i>	88
Tabel VI. 7 Durasi Pengelasan Robot Pada Bangunan <i>Elevation ROW A</i>	90
Tabel VI. 8 Durasi Pengelasan Robot Pada Bangunan <i>Elevation ROW B</i>	91
Tabel VI. 9 Durasi Pengelasan Robot <i>horizontal brace ROW 1 & 2</i>	92
Tabel VI. 10 Durasi Pengelasan Robot <i>horizontal brace ROW A & B</i>	92
Tabel VI. 11 Durasi Pengelasan Robot <i>horizontal brace ROW A & B (Lanjutan)</i>	93
Tabel VI. 12 Durasi Pengelasan Robot <i>Horizontal Brace LEG A1 & A2</i>	93
Tabel VI. 13 Durasi Pengelasan Robot <i>Horizontal brace</i> Tegak Lurus <i>Leg B1 & B2</i>	94
Tabel VI. 14 Investasi Mesin Robot Las	97
Tabel VI. 15 Investasi Mesin Las Konvensional.....	97
Tabel VI. 16 Biaya Listrik Mesin Las Robot	98
Tabel VI. 17 Biaya Listrik Mesin Las Konvensional	99
Tabel VI. 18 Biaya Pemeliharaan Mesin Las Robot	100
Tabel VI. 19 Biaya Pemeliharaan Mesin Las Konvensional	100
Tabel VI. 20 Perbandingan Biaya Pengelasan Dalam Satu <i>Joint Pipa</i>	101
Tabel VI. 21 Biaya Pengelasan Mesin Las Robot Seluruh <i>Brace Joint</i> Pada Struktur <i>Jacket</i>	102
Tabel VI. 22 Biaya Pengelasan Konvensional Seluruh <i>Joint</i> Pada Struktur <i>Jacket</i>	102
Tabel VI. 23 Biaya Tenaga Kerja Langsung Tanpa Peran Robot Las	103
Tabel VI. 24 Biaya Tenaga Kerja Langsung dibantu Peran Robot	103
Tabel VI. 25 Selisih Biaya Operasional	104
Tabel VI. 26 Perhitungan Akumulasi Pendapatan Saving Biaya Operasional.....	105
Tabel VI. 27 Perhitungan Kelayakan Investasi dengan metode NPV	106

Tabel VI. 28 Perhitungan IRR dan ROI	106
--	-----

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Robot merupakan benda yang tidak asing lagi di era yang telah maju ini. Namun, sebagian besar masih banyak orang membayangkan robot “*humanoid*”, padahal itu hanyalah salah satu jenis robot. Robot adalah alat mekanik yang dapat melakukan tugas tertentu untuk membantu manusia, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia maupun menggunakan program yang telah di definisikan terlebih dahulu (kecerdasan buatan). Robot biasanya digunakan untuk tugas berat, berbahaya, pekerjaan yang berulang atau kotor.

Teknologi komputer, terutama robotika di masa sekarang sudah menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia. Robot adalah peralatan eletro-mekanik atau bio-mekanik, atau gabungan peralatan yang menghasilkan gerakan yang otonomi maupun gerakan berdasarkan gerakan yang diperintahkan (Halim, 2007). Robot dalam beberapa hal dapat menggantikan peran manusia, hal ini terlihat pada robot-robot yang diterapkan dalam berbagai bidang seperti industri, kesehatan (*health*), pertahanan (*defense*), pertanian (*agriculture*), penelitian (*research*), permainan (*game*), dan lain-lain.

Dalam industri modern, robot telah mengambil alih posisi para pekerja di pabrik-pabrik. Misalnya dalam industri automotif, alat elektronik, peranti komputer, robot telah menjadi penggerak utama dari industri ini. Alasan utama penggunaan robot adalah, karena robot dalam kondisi tertentu (syarat minimum operasi terpenuhi) dapat menjadi pekerja yang ideal, robot memiliki tingkat akurasi dan efisiensi yang tinggi, serta yang lebih penting adalah biaya operasinya rendah dengan *output* yang dihasilkan lebih tinggi pada saat sekarang ini karena melihat sifatnya yang sangat fungsional.

Ada beberapa tipe robot, yang secara umum dapat dibagi menjadi dua kelompok yakni robot manipulator dan robot mobil (*mobile robot*). Robot manipulator dicirikan dengan memiliki lengan (*arm robot*), dan banyak digunakan untuk robot industri. Sedangkan robot mobil merupakan robot yang dapat bergerak berpindah tempat, meskipun nantinya robot tersebut juga dipasang manipulator. Robot mobil dapat dikelompokkan lagi menjadi tiga yaitu robot daratan (*ground robot*), robot air (*underwater robot*), dan robot terbang (*aerial robot*). Ketiga jenis robot ini sangat banyak dikembangkan.

Beberapa penelitian tentang robot pengelasan telah dibahas di luar negeri seperti (Marcelo H. Ang Jr, 1999), yang mengembangkan sistem robot pengelasan pada kapal (*SWERS*) sebagai solusi yang mampu mengatasi masalah pengelasan, dengan fitur utama yang lebih modern dari (*SWERS*), termasuk prosedur pengajaran khusus yang memungkinkan pengguna manusia untuk mempelajari cara mengoperasikan robot las yang jauh lebih mudah dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Pada penelitian ini akan menganalisa secara teknis dan ekonomis penggunaan robot pengelasan struktur *jacket* bangunan lepas pantai, dengan menggunakan *welding robotic* apakah lebih efisien dibanding dengan pekerjaan *welder* (manusia) yang membutuhkan sertifikasi las minimal 6G, bagaimana prosedur pengelasan menggunakan robot, dan berapa besar biaya yang dibutuhkan jika dibandingkan dengan pekerjaan *welder*.

Keterbatasan jumlah *welder* untuk melakukan pengerjaan las struktur *jacket* di Indonesia terutama dengan posisi pengelasan 6G masih sedikit . Untuk menggali dan menjaga tingkat ke presisian ini diperlukan perangkat pendukung yang mampu membantu proses pengelasan tersebut dan salah satunya adalah dengan menggunakan robot *welding*. Kebanyakan kegiatan las dengan *structure jacket* dilakukan sendiri oleh manusia tanpa bantuan robot, seperti Inspeksi las. Inspeksi yang dilakukan sendiri oleh manusia memiliki beberapa resiko yaitu adanya area-area yang sulit dijangkau manusia serta hasil kurang presisi. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan proses pengelasan diperlukan alat yang mampu bergerak bebas di dalam material yang sempit mau maupun sulit, sehingga aman dan efisien dalam membantu tugas manusia.

Dalam hal ini penggunaan teknologi robot dapat memaksimalkan pengerjaan pengelasan pada posisi sulit seperti pada *joint* pada konstruksi struktur *jacket* , dan dari segi ekonomi memang untuk modal awal memerlukan biaya investasi yang cukup tinggi akan tetapi dari segi penggunaan dapat dipergunakan secara berkelanjutan. Di harapkan penggunaan robot pengelasan dalam proses produksi bangunan lepas di Indonesia dapat mengurangi biaya yang di keluarkan untuk menggaji *welder* sehingga biaya produksi lebih murah.

I.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pengelasan struktur *jacket* menggunakan robot pengelasan?

2. Bagaimana perbedaan penggunaan robot pengelasan dengan *welder* konvensional pada pengelasan struktur *jacket* bangunan lepas pantai?
3. Bagaimana kelayakan penggunaan robot pengelasan dalam industri bangunan lepas pantai?

I.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Menguraikan proses pengelasan struktur *jacket* menggunakan robot pengelasan.
2. Melakukan analisa teknis penggunaan robot pengelasan dengan *welder* konvensional pada pengelasan struktur *jacket* bangunan lepas pantai.
3. Melakukan analisa perbandingan nilai ekonomis penggunaan robot pengelasan dalam industri bangunan lepas pantai.

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada judul ini adalah sebagai berikut :

1. Type struktur yang akan di las dengan menggunakan robot adalah *joint* struktur *jacket* bangunan lepas pantai.
2. Perusahaan tempat penelitian adalah PT. PAL Indonesia, Surabaya dan Distributor Mesin Las Robot, Waru Sidoarjo.
3. Faktor eksternal seperti perekonomian, politik, dan sosial diasumsikan dalam keadaan stabil
4. Metode yang digunakan untuk menghitung biaya ekonomis penggunaan robot dan pengelasan konvensional adalah metode perbandingan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagi akademisi:
 - a. Sebagai referensi mengenai aspek teknis dan ekonomis terhadap proses pengelasan industri manufaktur bangunan lepas pantai di Jawa Timur.
 - b. Menambah wawasan penulis dan calon peneliti selanjutnya sehingga nantinya dapat dilakukan pengembangan.
2. Bagi praktisi:
 - a. Untuk menilai seberapa besar kelayakan ekonomis dan potensi dari penggunaan robot pengelasan industri manufaktur bangunan lepas pantai di Indonesia.

1.6 Hipotesis

Bahwa pengelasan menggunakan *robotic welding* diharapkan dapat mengurangi biaya produksi dan meningkatkan produktivitas secara teknis dan ekonomis.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Robot Pengelasan

II.1.1 Pengertian Robot Las

Robot adalah sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dahulu kecerdasan buatan. Penggunaan robot industri dalam operasi produksi merupakan teknik baru untuk rekayasa manufaktur. Perkembangan dan penerapan aplikasi robot secara umum mengikuti *sequence* dasar yang sama seperti proses manufaktur lainnya. Namun, kombinasi unik dari robot memberikan beberapa kemudahan dalam proses pengaplikasiannya. (Tsuji, 1989). Robot biasanya digunakan untuk tugas yang berat, pekerjaan yang berulang dan kotor. Sedangkan pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Jadi pengertian robot pengelasan adalah sebuah teknologi mekanik yang dapat melakukan tugas penyambungan dua bahan material atau lebih baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, sehingga penyatuan bahan lebih presisi dan akurasi lebih tepat.

Perkembangan teknologi robot memberikan kemudahan bagi umat manusia dalam menjalankan kehidupannya, tak terkecuali dibidang pengelasan, teknologi tersebut terutama pada proses pengelasan yang membutuhkan ketelitian dan akurasinya.

Penelitian tentang teknologi untuk membantu pekerjaan manusia, artikel dan jurnal yang membahas tentang teknologi robot pengelasan dikumpulkan dan disusun, robot pengelasan dapat dikelompokkan ke dalam kategori yang berbeda berdasarkan pada mobilitas tiap tipe robot. Mobilitas robot las dengan lokasi pengelasan dapat dilakukan dengan: penanganan manual, *gantry* sistem *crane* / rel, basis *mobile*, lampiran dinding, pendaki dan pipa *gripper*. Beberapa teknologi ini memiliki telah berkembang menjadi solusi nyata, sementara yang lain masih dalam tahap konseptual.

Cara menggunakan robot agar dapat berperan sebagai pengganti *welder* konvensional yaitu dengan melalui bantuan operator untuk mengontrol robot dengan *remote* sesuai dengan gerakan yang telah diprogram sebelumnya, sehingga pekerjaan manusia jadi lebih ringan. Di Hyundai Industri Korea telah diusulkan dan dikembangkan jenis

pengelasan robot yang memiliki manipulator *5-axis* derajat kebebasan dengan massa 23 kg dan dimensi 400 x 220 x 780 mm³. Perusahaan otomotif Daewoo, Korea Selatan juga menggunakan robot pengelasan 6- derajat kebebasan (*Degrees Of Freedom /DOF*) robot pengelasan atas dengan berat 25,7 kg dan memiliki kerja yang radius 794 mm. Robot ini memiliki sehingga berfungsi sebagai pegangan untuk memudahkan mencengkeram. Robot dan *controller* yang modular untuk mendistribusikan berat. Dalam perkembangan selanjutnya, mereka menyederhanakan desain untuk *5-DOF* las robot untuk mengurangi massa benda dan ukuran.



Gambar II. 1 Gambaran Umum Robot Pengelasan

(Sumber : Wai Wahdan, 2010)

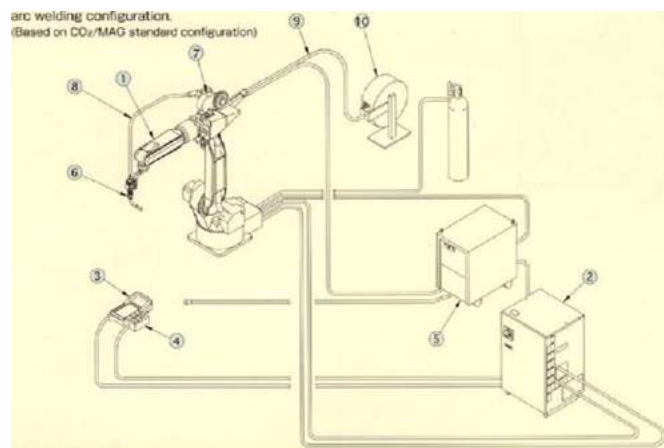
Gambar II.1 menunjukkan bentuk fisik atau model dari robot pengelasan berserta peralatan dan komponen penunjang lainnya yang terdiri dari : *Unit robot*, *teach pendant*, *servo motor* dan *power source*.

Dalam hal implementasi *Welding Robot* pada dasarnya telah diprogram untuk dapat langsung digunakan pada proses produksi , namun tidak menutup kemungkinan apabila pada pengaplikasiannya terdapat tambahan *interface* pendukung maka untuk kepentingan seperti ini operator masih dapat membuat program yang sudah ada. Dengan kemudahan robot ini

telah didukung sistem PLC maka operator dapat mengaksesnya cukup menggunakan diagram anak tangga (*ladder diagram*).

Sedangkan untuk penggunaan pada proses *welding* sendiri operator tidak perlu lagi repot mengakses PLC nya, karena untuk penggunaan operator hanya akan mengatur parameter-parameter pengelasan seperti : koordinat jalur pengelasan, arus, tegangan, kecepatan las, panjang kawat , tipe pengelasan maupun tipe gerakan robot yang berhubungan dengan aksisnya. Semua program yang telah dibuat dapat diakses melalui alat bantu yang dinamakan *teach pendant*, dengan adanya perangkat ini operator robot mampu untuk menuliskan program pengelasan kemudian dapat disimpan untuk penggunaan lebih lanjut.

II.1.2 Bagian-bagian Penyusunan dan Cara Kerja Mesin Robot Las



Gambar II. 2 Skema *Arc Welding Robot*

(Sumber : Radifto,2012)

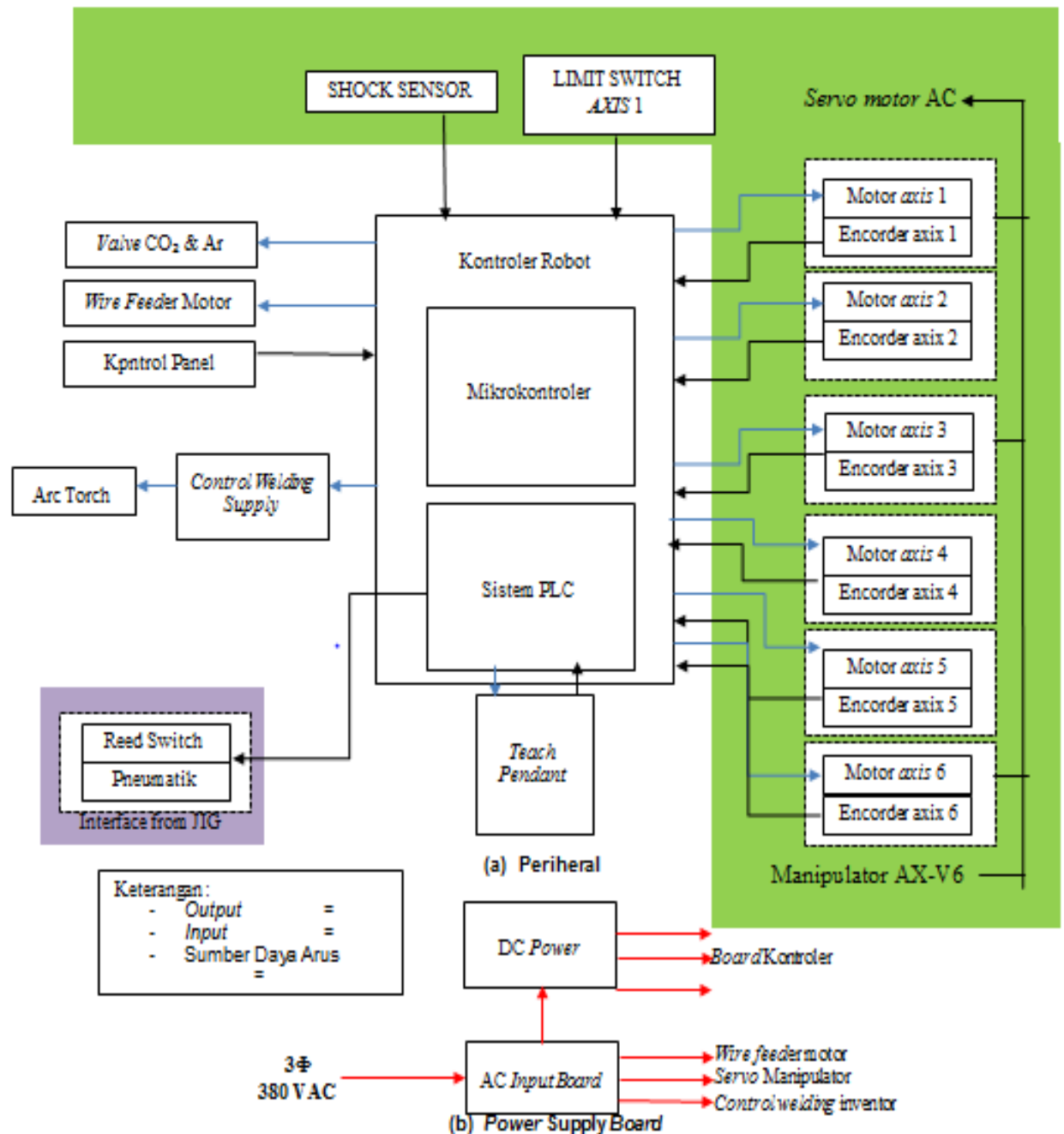
Skema proses pengelasan menggunakan robot dapat dilihat pada Gambar II.2. Dalam proses pengelasan Robot dengan proses las FCAW, yaitu dimana terdapat serbuk *flux* di dalam batangnya. Butiran-butiran dalam inti kawat ini menghasilkan sebagian atau semua *shielding gas* yang diperlukan. Jadi berlawanan dengan GMAW, dimana seluruh gas pelindung berasal dari sumber luar. FCAW bisa juga menggunakan gas pelindung tambahan, tergantung dari jenis elektroda, logam yang dilas, dan sifat dari pengelasan yang dikerjakan.

Keterangan :

1. Manipulator
2. *Control Unit*
3. *Teach Pendant*
4. *Operating Box*
5. *Control Cable* (Manipulator – *Control Unit*)
6. *Welding Power Supply*
7. *Control Cable* (*Control Unit* – WPS)
8. *Co2/Mag Welding Torch*

9. *Torch Attached Bracket*
10. *Torch Gauge Assy*
11. *Wire Feed Unit*
12. *Coaxial Power Cable*
13. *Cable / House*
14. *Gas Regulator*
15. *Conduit Wire*
16. *Wire Reel Stan*

Secara umum alur *interface peripheral* terhadap kontroler robot adalah sebagai berikut :

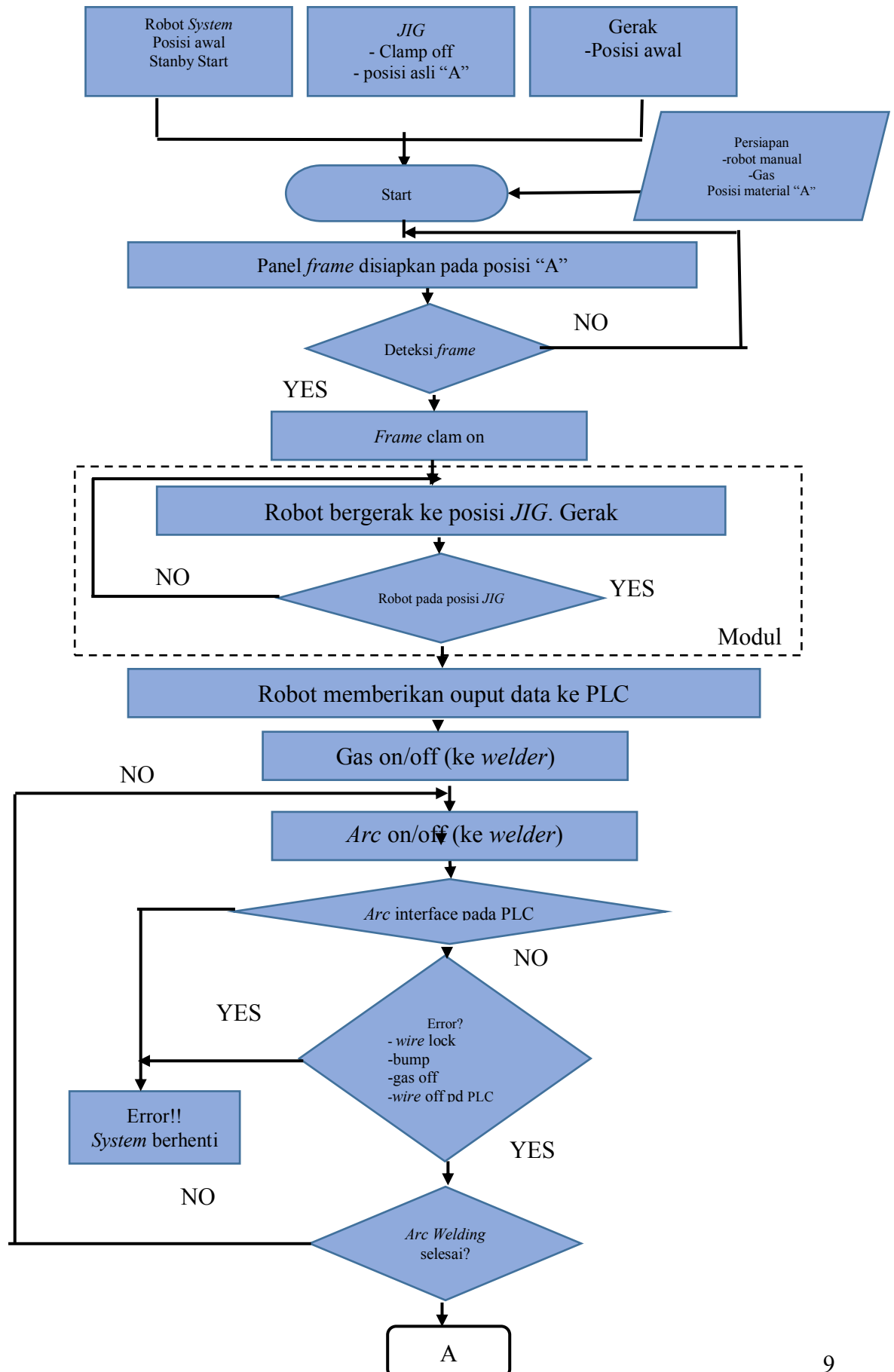


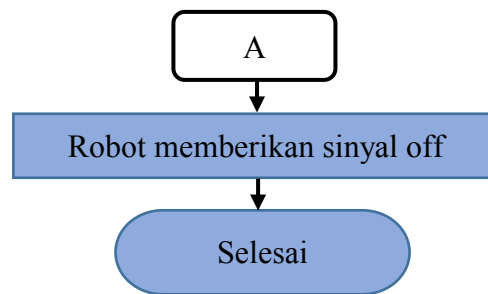
Gambar II. 3 Alur Interface

(Sumber : Radifto,2011)

Gambar II.3 menjelaskan tentang alur *interface peripheral* robot pengelasan secara umum yang mempunyai fungsi untuk mendukung kerja komputer sehingga fungsi kerja komputer menjadi maksimal.

Secara umum runtutan proses kerja *Arc welding* robot dapat dilihat dari Gambar II.4 :

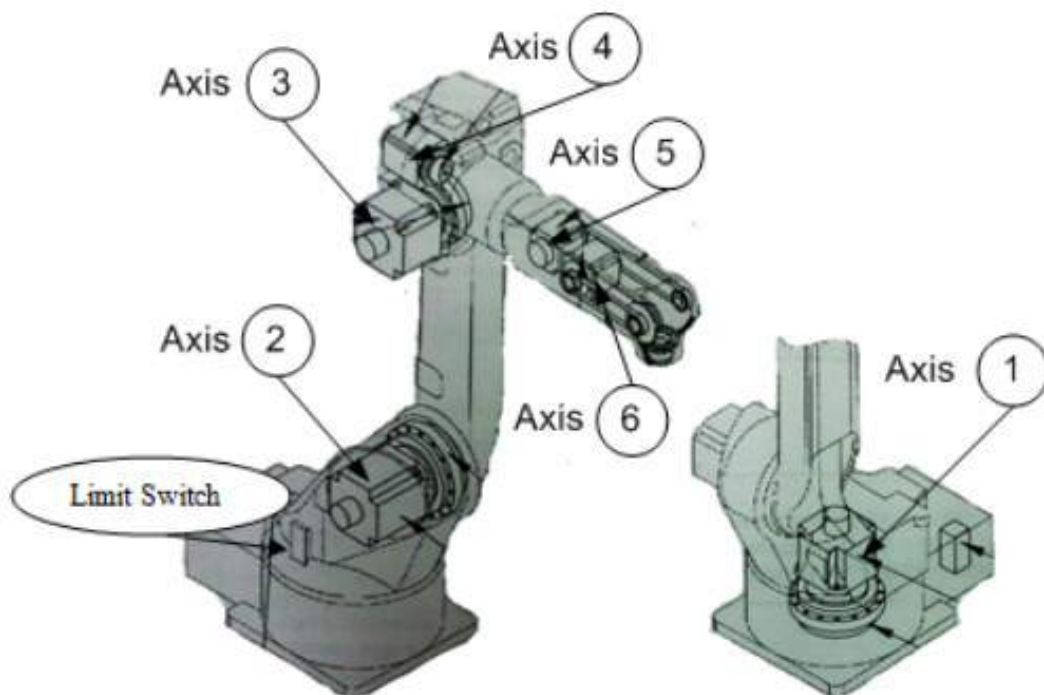




Gambar II. 4 *Flow Chart Arc Welding robot 1 cycle proses*
(Sumber : Radifto, 2011)

Sistem ini dirancang untuk memudahkan manusia pada proses pengelasan yang membutuhkan waktu penyelesaian cukup lama serta membutuhkan kualitas las yang baik. Sistem ini juga dilengkapi sistem interaksi. Antar muka manusia-mesin yang didesain khusus. Sehingga, manusia dapat melakukan kontrol melalui tombol-tombol yang disediakan seperti tombol kecepatan serta mengatur pergerakan robot tersebut. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur yang dapat merekam semua gerakan manusia, sehingga memungkinkan robot dapat menggantikan pekerjaan manusia setelah dilakukan proses mengajari robot (*robot teaching*).

II.1.3 Bagian-bagian Manipulator



Gambar II. 5 Manipulator
(Sumber : Radifto, 2011)

Gambar II.5 menunjukkan bagian-bagian manipulator yang ada pada robot pengelasan dan akan di jelaskan pengertian dan fungsi setiap bagian-bagian tersebut.

1. Motor Axis 1 S/D Axis 6

Satu unit manipulator digerakan oleh 6 unit *servo motor* AC dengan kecepatan dan jangkauan (*working area*) yang berbeda-beda. Motor axis 1 s/d 4 satu sumbu dengan *gear axis* sedangkan *motor axis* 5 dan 6 dilengkapi dengan *V-belt* sebagai transmisi ke gear

2. Limit Switch

Limit Switch digunakan sebagai pembatas *working area* untuk axis 1.

3. Inner Cable Assy

Inner cable assy terdapat di dalam lengan manipulator dengan rute dari bagian bawah sampai ke bagian atas manipulator. *Inner cable assy* terdiri dari kabel daya dan kabel data.

4. Wire feeder

Wire feeder merupakan bagian yang berfungsi sebagai pengumpan *wire* dari *wire drum* sampai ke benda yang akan dilas. *Wire feeder* dilengkapi dengan satu roll dengan ukuran yang disesuaikan dengan diameter *wire*.

II.1.4 Bagian-bagian Control Unit

1. Main Board dan PLC

Berfungsi untuk mengontrol seluruh *system* dalam robot *control unit*, mengontrol kerja manipulator dan mengontrol sinyal I/O antara robot *control unit* dan bagian lainnya. Merk *PLC (Programmable Logic Controller)* yang digunakan berbeda-beda sesuai dengan mesin yang bersangkutan. Pada beberapa jenis mesin tertentu seperti dari maker OTC-Daihen tidak menggunakan *PLC* sebagai *unit* kontrolnya akan tetapi menggunakan *PCB card* yang dilengkapi oleh piranti *input-output*. Bahasa pemrograman yang digunakan secara keseluruhan menggunakan *ladder* (diagram anak tangga). Dilengkapi dengan *Operation Status Indicator* dan *Switch Setting of Main Board*.

2. Servo Driver Unit

Berfungsi untuk membagi daya listrik ke tiap-tiap *servo motor* . Besar daya yang dibagi disesuaikan dengan rating *motor* .*Unit driver servo motor* yang ada pada robot AXV6 ini dinamakan inverter *servo motor* . Tidak lagi seperti robot keluaran terdahulu (8700, alpha, DR400) yang drivernya masih dibedakan berdasarkan blok-blok tersendiri.

Sehingga dapat dikatakan sistem *servo* untuk tipe robot EX dan AX sudah berupa modul *compact*. Namun tetap dilengkapi *Operation Status Indicator and Fuse of Servo Driver*.

3. Servo Power Unit

Berfungsi untuk mensuplai daya listrik berupa tegangan listrik bolak-balik (AC) ke tiap – tiap *servo motor* setelah melalui *servo driver unit*.

4. Mother Board

Berfungsi sebagai pusat seluruh sinyal yang ada di masing-masing *part PCB* dalam *control unit* maupun perangkat yang ada diluar *control unit* misalnya *Teach Pendant, Personal Computer, Welding Interface* . Dilengkapi dengan setting *Switch*.

5. Sequence Board

Berfungsi sebagai *interface* dengan bagian *output devies* misalnya *Operating Box, Starting Box*, dan *I/O* untuk operasi robot. Dilengkapi dengan *Status Indicator, Setting Switch, Connector, Test Pin, Fuses, Relay*.

6. Power Unit

Berfungsi sebagai *power Supply* ke sebagian besar *PCB dalam control unit, servo power* dan *external memory unit*. Rating *output voltage* bervariasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing *unit PCB*. Dilengkapi *fuses* dan *connector*.

7. Absolute Encoder Batteries

Berfungsi sebagai baterai untuk mem-backup data *absolute encoder* manipulator. Baterai ini akan mengisi ulang selama kontrol robot ON dan menjadi *backup power Supply* saat kontrol robot OFF. Untuk kondisi baterai baru bisa membackup data selama 10 hari. Spesifikasi baterai nominal 3.0V x 3 *unit*, charging voltage 3.8V – 4V dan jenisnya *Charged Battery* (baterai isi ulang). Periode penggantian sekurang – kurangnya sekali dalam 3 tahun.

8. Auxiliary Transformer

Trafo ini berfungsi sebagai sumber tegangan untuk *absolute encoder batt, releasing brake, welding interface* .

9. Terminal Block / Relay Unit

Berfungsi sebagai *communication interface I/O* dengan perangkat luar (*relay, sensor, push button, solenoid valve dll*). Satu *unit terminal block/relay unit* terdiri dari 20 *input* dan 20 *output*. Jumlah *I/O* bisa ditambah dengan cara menambah satu *unit terminal block/relay unit* lagi.

II.1.5 Bagian-bagian Komponen Penunjang Mesin Las Robot

1. *Teach Pendant*

Merupakan bagian yang sangat penting untuk memasukan perintah-perintah (misal: *welding* program, komunikasi dengan *external devieces* dll) ke dalam robot. Terdiri atas Bagian LCD(*Liquid Crystal Display*), *Sheet keys*, tombol *Push Button*, *EMG* dan Lampu. Pada Gambar II.6 berikut ini akan menjelaskan peran dan fungsi tiap tombol yang ada pada *teach pendant*.



Gambar II. 6 *Teach Pendant*
(Sumber : Radifto, 2011)

Keterangan :

1. Tombol F1-F12 adalah multi fungsi, untuk mengakses pilihan yang ada disekitar layar.
2. Layar *LCD* yang digunakan untuk *interface* terhadap robot.

3. Tombol *Emergency*, digunakan untuk menghentikan proses pada saat terjadi masalah ketika robot dalam kondisi kerja.
4. *Switch* untuk mode *Auto* dan *Manual*.
5. Tombol *ENABLE* yang multifungsi untuk mengakses tombol-tombol lain yang memiliki kode hijau (penggunaannya adalah bersamaan).
6. Tombol untuk menjalankan robot pada kondisi *teaching*.
7. Tombol untuk mengatur jenis gerakan maupun jenis pengelasan.
8. Tombol *REC* yang digunakan untuk merekam suatu *setting* koordinat.
9. Enam pasang tombol yang digunakan untuk menggerakkan posisi manipulator.
10. Tombol-tombol *inputan* numerik, *shortcut*, dan *mengedit* program.

2. *Operating Box*

Berfungsi sebagai tombol operasional robot (*start, stop, emg, clamp on, clamp off*).

3. *Panel Listrik*

Panel listrik ini merupakan pusat pengaturan sumber listrik utama bagi mesin. terdapat *mainswitch* yang berfungsi untuk memutus atau mengalirkan listrik ke mesin. Listrik yang diatur disini merupakan arus listrik 3Ø 380 VAC.

4. *Welding Power Supply*

Welding Power Supply (WPS) atau mesin las merupakan bagian yang berfungsi menghasilkan pengelasan seperti yang diinginkan operator/programer. Mesin yang digunakan disesuaikan dengan kapasitas maupun system pengelasan tertentu, misalnya kapasitas 350 atau 500 *ampere* dan sistem pengelasan misalnya CO2, MAG, MIG dll.

5. *Welding Interface Unit*

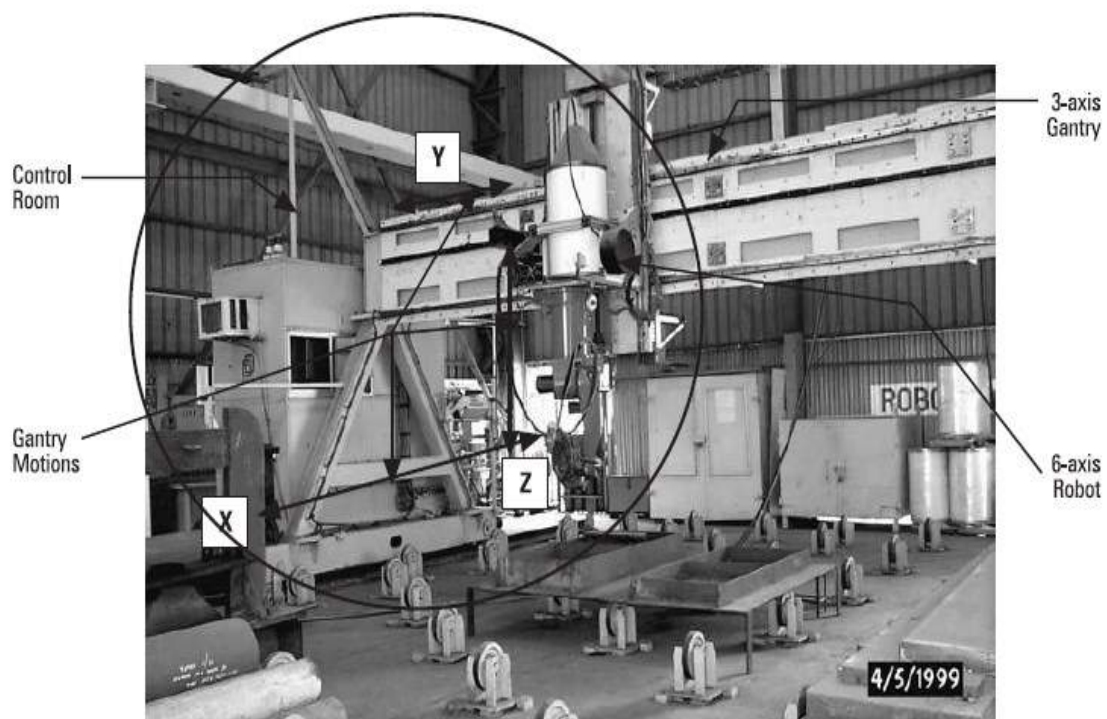
Unit ini berfungsi sebagai penghubung atau *interface* antara robot an *welding machine*. Peran utamanya adalah untuk mengontrol kecepatan *motor wire feeder* yang disesuaikan dengan besar arus pengelasan. Komunikasi antara control unit dengan *interface* menggunakan *fibre optic cable*.

6. *Interface Dengan Jig*

Fasilitas *Programmable Logic Control (PLC)* sebagai alat/*interface* untuk melakukan komunikasi dengan perangkat luar (misalnya : *Jig, Slider dll*) dapat digunakan dengan robot ini, adanya *Jig* pada bagian *Welding* digunakan sebagai alat *clamp* untuk bagian objek *body* yang akan di lakukan pengelasan. Pada *jig* ini terdapat

beberapa pneumatik sebagai aktuator untuk penggerak *clamp* itu sendiri juga digunakan *sensor proximity* yang juga diletakan di dinding luar selubung pneumatic.

Perkembangan teknologi robot memberikan kemudahan bagi umat manusia dalam menjalankan kehidupannya, tak terkecuali dibidang pengelasan, teknologi tersebut terutama pada proses pengelasan yang membutuhkan ketelitian dan akurasi(Marcelo H. Ang Jr ,1999). Hal tersebut karena produksi bangunan lepas pantai yang menjadi prioritas utama adalah hasil las lalu kemudian tingkat efisiensinya. Akan tetapi, manusia juga memiliki peranan yang penting dalam hal mengontrol sistem tersebut karena semua proses dijalankan atas perintah manusia. Dalam hal ini, sistem interaksi manusia-robot didesain untuk membantu manusia terutama dalam hal akurasi hasil pengelasan yang dirasa akan cukup sulit bila dilakukan manusia dengan proses manual (Marcelo H. Ang Jr ,1999). Berdasarkan (Marcelo H. Ang Jr ,1999) sistem interaksi manusia-robot pada proses las kapal diberi istilah *Ship Welding Robot System (SWERS)*.



Gambar II. 7 Sistem (SWERS)
(Sumber : Marcelo H. Ang Jr ,1999)

Gambar II.7 adalah penerapan sistem robot pengelasan pada proses *assembly* kapal yang ada pada bengkel *assembly*. Sistem ini juga dapat di disebut (*SWERS*) *Ship Welding Robot System*.

Sistem ini dirancang untuk memudahkan manusia pada proses pengelasan yang membutuhkan waktu penyelesaian cukup lama serta membutuhkan kualitas las yang baik. Sistem ini juga dilengkapi sistem interaksi antar muka manusia-mesin yang didesain khusus. Sehingga, manusia dapat melakukan kontrol melalui tombol-tombol yang disediakan seperti tombol kecepatan serta mengatur pergerakan robot tersebut. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur yang dapat merekam semua gerakan manusia, sehingga memungkinkan robot dapat menggantikan pekerjaan manusia setelah dilakukan proses mengajari robot (*robot teaching*) seperti yang sudah ditunjukkan pada Gambar II.8 .



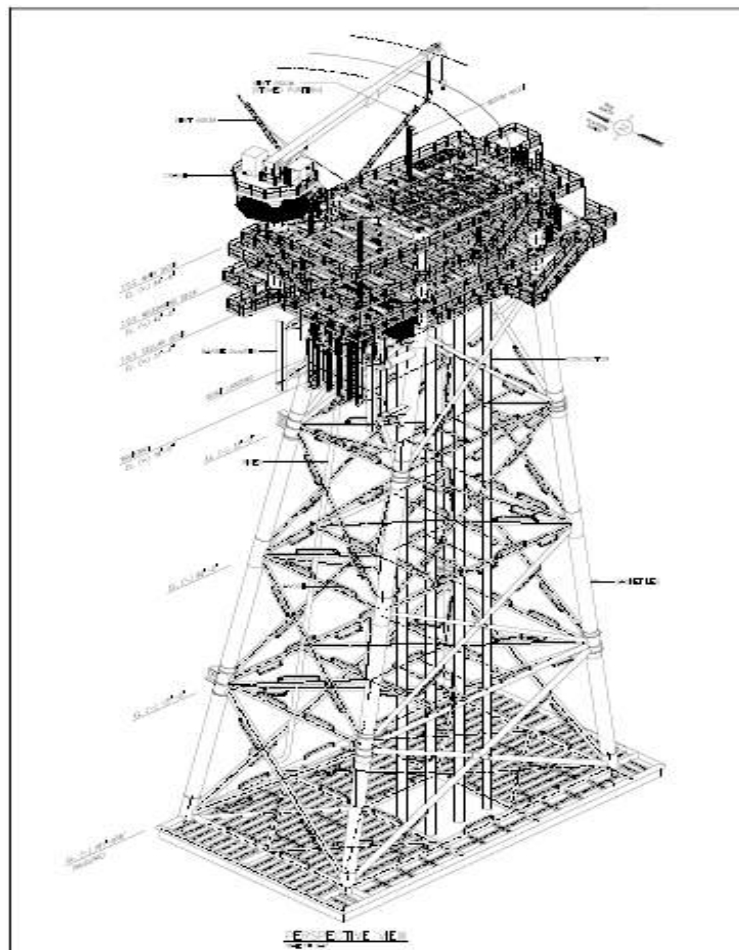
Gambar II. 8 Robot *Teaching*
(Sumber : Marcelo H. Ang Jr ,1999)

Hal tersebut sangat membantu manusia mengurangi tingkat kelelahan dan kejenuhan dalam melakukan proses pengelasan. Karena akibat dari kejenuhan dan kelelahan menimbulkan banyak kesalahan dalam bekerja sehingga dapat merugikan perusahaan. Selain itu, pada tahap penyambungan pada dua bagian lambung kapal sekarang ini industri kapal sudah mulai menggunakan robot *crane* disertai perlengkapan pengelasan (Bostelman et al. 1999). Hal ini sangat membantu manusia dengan mengurangi tingkat resiko kecelakaan dan juga meningkatkan efisiensi biaya. Hal tersebut terbukti bahwa pada proses ini beberapa bagian struktur *jacket* diangkat lalu dilakukan proses pengelasan. Sehingga, kemungkinan kecelakaan sangat tinggi pada manusia bila dilakukan secara konvensional. Adapun gambar aplikasi

Secara umum, setiap type *jacket*, baik ukuran dan skala *jacket* dihubungkan dengan biaya produksi tinggi pada saat kapal sedang berada di *docking* berdekatan dengan lokasi *loadout* yang telah menuju kearah metode teknik pembangunan modern dimana komponen struktural dari *platform* dirakit di beberapa lokasi dengan hanya perakitan akhir yang terjadi di lokasi yang paling mahal. beberapa aspek dari teknik perakitan umum yang telah digunakan; Namun, karena bagian / komponen berbeda-beda, proses perakitan terus-menerus berubah dari satu bagian ke bagian lain. Namun demikian, manfaat yang signifikan yang dapat dicapai melalui peningkatan tingkat otomatisasi dalam pembangunan kapal.

II.2 Gambaran Umum Struktur *Jacket* Bangunan Lepas Pantai

Struktur *jacket* ini merupakan tipe struktur yang paling lazim digunakan dalam operasi pengeboran dan produksi lepas pantai. Desain untuk tipe struktur ini pun bervariasi. Struktur *jacket* ini terdiri dari batang-batang tubular yang bersambung-sambung menjadi bentuk *three-dimensional space frame*. Struktur ini biasanya memiliki empat sampai delapan kaki untuk mencapai kestabilan terhadap beban-beban gelombang. Tiang utama tubular biasanya dipancangkan melalui *jacket* sampai ke dasar laut.



Pada *jacket* terdapat beberapa komponen struktur. Komponen-komponen struktur *jacket* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jacket Leg

Jacket leg merupakan kaki-kaki *jacket*. Kaki-kaki inilah yang berupa pipa baja tubular.

2. Braces

Braces ini merupakan pengaku kaki *jacket*. Biasanya *braces* ini terdapat di elevasi-elevasi tertentu dengan terdapat komponen tambahan yang akan dijelaskan pada poin berikutnya.

Braces dan *jacket leg* dihubungkan oleh *Joint leg*.

3. Komponen Tambahan

Komponen tambahan yang lazim terdapat pada *jacket platform* adalah *conductor guide*, *riser*, *riser guard*, *boatlanding*, *padeye*, dan *mudmat*.

Struktur bagian *jacket* berikutnya adalah *deck* yang merupakan bagian atasnya struktur *jacket*. Struktur *deck* menjadi bagian yang dijadikan sebagai tempat peralatan operasional seperti peralatan *drilling*, produksi, *storage room*, dan fasilitas operasional lain yang diperlukan untuk kebutuhan operasional.

Struktur bagian berikutnya adalah pondasi. Pondasi ini biasanya berupa tiang (*pile*). Tiang ini dipancangkan ke dasar laut dengan diselubungi oleh *jacket*. Sebagai pondasi, tiang ini mampu untuk meneruskan seluruh gaya luar yang terjadi pada anjungan ke dalam tanah.

Struktur *jacket* biasanya mampu menopang 2-3 dek dengan berbagai macam peralatan operasi di atasnya. Struktur ini awalnya diletakkan di lokasi dengan kedalaman 500-600 ft (150-180 m). Namun terdapat sebuah *jacket* tiga bagian yang besar dengan berat sebesar 34.300 ton yang dipasang pada tahun 1979 di Cognac Field, Gulf of Mexico dengan kedalaman 1000 ft (300 m). Semenjak itu struktur *jacket* berukuran besar mulai bermunculan seperti Cerzeva Liguera (935 ft/ 285 m), Pompano (1290 ft/ 393 m), dan Bullwinkle (1350 ft/ 412 m).

II.3 Pengelasan Robot Pada Struktur *jacket*

Ketika sebuah struktur *jacket platform* akan dibangun maka dalam proses pembangunannya harus memenuhi terlebih dahulu *Welding Procedure Qualification Test* dan melatih para pengelasnya untuk mendapatkan *Welder Qualification Certification* atau mempekerjakan para *welder* yang telah mendapatkan sertifikat. Hal tersebut dicantumkan oleh DNV class untuk industri bangunan lepas pantai yang memakai jasa dari *class* tersebut.

Pada waktu yang sama galangan juga harus diminta mengumpulkan *Welding Procedure Specification* sebagai bentuk persetujuan dari pihak *class*.

Pada saat yang bersamaan, perusahaan industri bangunan lepas pantai diminta untuk memberikan ***Welder Procedural Specification(WPS)*** untuk persetujuan. Tes WPQ & WQT diberikan kepada surveyor sebelum dimulainya pekerjaan pembangunan dan surveyor berhak untuk menilai & menyetujui WPS.

Sebelum membangun struktur *jacket* , *Welding Procedure Qualification Test* dan *Welding Qualification* test harus diberikan kepada surveyor untuk diperiksa dan dipelajari. Tidak lupa pula surveyor juga harus memeriksa *Welding Procedure Specification*. Setelah itu para pengelas memulai proses pengelasan dan kemudian akan diperiksa oleh surveyor. Mengacu pada peraturan oleh Class maka ada beberapa *preliminary Procedure* yang harus dipenuhi oleh galangan yaitu:

- *Welding Procedure Qualification Test*
- *Welding Procedure Specification*
- *Welder with Qualified Certificate*

Proses *welding* sendiri sebenarnya merupakan hal yang amat pokok dalam pembangunan Bangunan Lepas Pantai, karena proses ini akan menyambungkan bagian-bagian struktur yang besar dan tahan korosi ketika dilakukan instalasi di laut . Oleh karena itu proses *welding* ini harus dilakukan secara ketat dan teliti agar tercapainya tingkat keamanan yang diinginkan.

Macam-macam posisi pengelasan :

Sambungan tumpul untuk pelat:

- 1G (Posisi bawah tangan)
- 2G (Posisi mendatar/ *horizontal*)
- 3G (Posisi tegak/ *vertical*)
- 4G (*Overhead*)

Sambungan sudut untuk pelat :

- 1F (Posisi bawah tangan)
- 2F (Posisi mendatar/ *horizontal*)
- 3F (Posisi tegak/ *vertical*)
- 4F (*Overhead*)
- *Sambungan tumpul pipa*

- 1G (Posisi bawah tangan)
- 2G (Posisi mendatar/ *horizontal*)
- 5G (Posisi bawah tangan, tegak dan atas kepala, sumbu pipa mendatar)
- 6G (bawah tangan, tegak dan atas kepala, sumbu pipa miring 45°)

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Berdasarkan klasifikasi cara kerja, pengelasan dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu :

1. Pengelasan cair, cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar
2. Pengelasan tekan, cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematiran, merupakan cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah.



Gambar II. 10 Pengelasan *Joint* Pada Struktur *jacket*
(Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=v3t-3abDis0>)

II.4 Investasi

Investasi adalah penanaman modal yang dilakukan oleh investor, baik investor asing maupun domestik dalam berbagai bidang usaha yang terbuka untuk investasi, yang bertujuan untuk memperoleh keuntungan (Salim HS dan Budi Sutrisno, 2008). Tujuan utama investasi adalah memperoleh berbagai manfaat yang cukup layak di masa yang akan datang. Manfaat tersebut dapat berupa imbalan keuangan, misalnya laba, manfaat non-keuangan atau kombinasi dari keduanya.

Studi kelayakan juga berperan penting dalam proses pengambilan keputusan investasi. Kesimpulan dan saran yang disajikan pada akhir studi merupakan dasar pertimbangan teknis dan ekonomis untuk memutuskan apakah investasi pada proyek tertentu layak dilakukan. Keputusan ini tidak harus selalu identik dengan saran yang diajukan.

Untuk itu, ada banyak peralatan yang bisa digunakan untuk mengukur kelayakan investasi diantaranya adalah :

- NPV (*Net Present Value*)
- Ratio B/C (*Ratio Benefit and Cost*)
- IRR (*Internal Rate Return*)
- Sementara periode mengembalikan dapat diukur dengan menggunakan rumus *Payback periods*, selanjutnya akan dihitung BEP (*Break Even Point*) dan Analisis Sensitifitas.

Berikut merupakan penjelasan tentang beberapa analisis kelayakan investasi :

1. Analisis NPV (*Net Present Value*)

Salah satu kriteria ekonomi yang paling banyak digunakan dalam mengevaluasi suatu investasi adalah *Net Present Value* (NPV). Analisis *Net Present Value* (NPV) merupakan analisis yang menghitung perbedaan antara nilai sekarang dari semua kas masuk (*income* atau *benefit*) dengan nilai sekarang dari semua kas keluar (*cost* atau *expenditure*) dari suatu proyek atau suatu investasi. Analisis *Net Present Value* (NPV) memungkinkan untuk menilai apakah suatu proyek atau peluang investasi layak dilaksanakan atau tidak. (Prof. Salengke, 2012)

Rumus yang digunakan untuk menghitung NPV adalah sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(C)t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{(Co)t}{(1+i)^1}$$

NPV = nilai bersih sekarang

(C)t = arus kas masuk tahun ke-t

(Co)t = arus kas keluar tahun ke-t

- n = umur unit usaha hasil investasi
i = arus pengembalian (*rate of return*)
t = waktu

Mengkaji usulan proyek dengan NPV akan memberikan petunjuk (indikasi) sebagai berikut :

- NPV = positif, maka usulan proyek dapat diterima. Semakin tinggi angka NPV, maka akan semakin baik
- NPV = negatif, maka usulan proyek ditolak
- NPV = 0, maka berarti netral

Kelebihan metode NPV adalah sebagai berikut :

- Memasukkan faktor nilai waktu dari uang
- Mempertimbangkan arus kas proyek
- Mengukur besaran absolut dan bukan relatif, sehingga mudah mengikuti kontribusinya terhadap usaha meningkatkan kekayaan perusahaan atau pemegang saham

2. Analisa *Gross Benefit Cost Ratio (Ratio B/C)*

Ratio Gross B/C adalah rasio dari pendapatan (B=Benefit) dibandingkan dengan biaya (C=Cost) yang telah dihitung nilai sekarangnya. Analisis ini pada dasarnya tidak jauh berbeda dengan analisis NPV.

Rumus yang digunakan untuk BCR adalah sebagai berikut :

$$\text{BCR} = (\text{PV}) B / (\text{PV}) C$$

Dimana,

BCR = Rasio manfaat terhadap biaya (benefit-cost ratio)

(PV) B = Nilai Benefit Sekarang

(PV) C = Nilai Biaya Sekarang

$$\text{BCR} = (\text{R} - (\text{C})_{\text{op}}) / \text{Cf}$$

Dimana,

R = Nilai Pendapatan Sekarang

(C)op = Nilai Biaya Sekarang (diluar biaya pertama)

Cf = Biaya Pertama

Mengkaji usulan proyek dengan rasio B/C akan memberikan petunjuk (indikasi) sebagai berikut :

- a) $B/C > 1$ Investasi layak dijalankan

- b) $B/C < 1$ Usulan Proyek ditolak
- c) $B/C = 1$ netral

3. Analisis *Internal Rate Return* (IRR)

Internal rate return menghitung tingkat bunga pada saat arus sama dengan 0 (nol) atau pada saat laba (pendapatan dikurangi laba) yang telah didiskon faktor sama dengan 0 (nol). IRR ini berguna untuk mengetahui pada tingkat bunga berapa proyeksi investasi tetap memberikan keuntungan. Jika bunga sekarang kurang dari IRR, maka proyek dapat diteruskan. Sedangkan jika bunga lebih dari IRR, maka proyek investasi lebih baik dihentikan.

Rumus yang digunakan untuk IRR adalah sebagai berikut :

$$\sum_{t=0}^n \frac{(C_o)t}{(1+i)^t} - (Cf) = 0$$

- (C)t = Arus Kas masuk tahun ke-t
- (Co)t = Arus Kas Keluar tahun ke-t
- N = tahun
- i = Arus Pengembalian (diskonto)
- t = Waktu

Menganalisis ukuran proyek dengan IRR memberikan petunjuk sebagai berikut :

- a) $IRR > \text{bunga sekarang (i)}$, proyek diterima
- b) $IRR < \text{bunga sekarang (i)}$, proyek ditolak

Langkah – langkah untuk menghitung IRR sebagai berikut :

- 1) Hitung *present value cash flow* yang dihasilkan usulan proyek investasi tersebut dengan menggunakan interest rate yang dipilih secara acak.
- 2) Bandingkan hasil perhitungan diatas dengan nilai *Original Investment*.
 - Jika hasil positif, cobalah dengan *interest rate* yang lebih kecil.
 - Jika hasil negatif, cobalah dengan *interest rate* yang lebih besar.
- 3) Lanjutkan langkah 2 point diatas sampai *present valuenya* mendekati OI (Selisih *Present value* dengan *Original Investment*)
- 4) Menghitung tingkat diskonto dari usulan proyek investasi tersebut dengan teknik interpolasi.

NPV dan IRR berhubungan negatif (berlawanan), yaitu apabila IRR mendekati nol, maka NPV akan mendekati maksimum. Sebaliknya NPV mendekati nol, maka IRR akan mendekati maksimum.

4. Analisis *Payback Period*

Metode ini adalah suatu metode yang diperlukan untuk menutup pengeluaran yang telah dikeluarkan untuk investasi (*initial cash investment*) dengan menggunakan aliran kas. Sederhananya, *Pay Back Period* merupakan rasio antara *initial cash investment* dengan *cash flow* yang hasilnya merupakan satuan waktu (Umar, 2008). Sementara itu menurut Husnan (1994), metode *Pay Back Period* adalah metode untuk mengukur seberapa cepat suatu investasi bisa kembali. Hasil yang didapatkan bukan berupa presentase, melainkan satuan waktu. Riyanto (1998) juga berpendapat bahwa metode *Pay Back Period* adalah satuan periode yang diperlukan untuk dapat menutup kembali pengeluaran investasi dengan menggunakan proses atau aliran kas *netto* (*Net Cash Flow*). Singkatnya, metode ini menggambarkan panjangnya waktu yang diperlukan agar dana yang ditanam dalam suatu rencana investasi dapat diperoleh kembali seluruhnya. Rumus dasar untuk mendapatkan PP adalah:

$$PP = t_x (I_0 - C / D - C) \times 1 \text{ Tahun}$$

Keterangan:

- t = Tahun terakhir dimana jumlah arus kas masih belum dapat menutup investasi awal
- I₀ = Jumlah investasi awal
- C = Jumlah kumulatif arus kas pada tahun ke-t
- D = Jumlah kumulatif arus kas pada tahun ke (t + 1)

Metode *Pay Back Period* kemudian dapat membandingkan setiap usulan investasi yang masuk kepada calon investor sehingga investor dapat membandingkan setiap usulan investasi dan menerima usulan investasi yang menghasilkan *pay back period* yang lebih pendek dari *pay back maximum* yang ditetapkan (umur ekonomis proyek).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif, yaitu metode yang bersifat deskriptif di mana data yang didapat merupakan hasil wawancara, observasi, dan studi pustaka. Tujuan dari penelitian deskriptif ini adalah memberikan deskripsi, gambaran atau lukisan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diselidiki. (Moh. Nazir; 1988)

Untuk mengerjakan Tugas Akhir ini tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan kejian pustaka terhadap beberapa referensi yang berhubungan dengan penelitian ini. Kemudian melakukan survei untuk mengobservasi struktur *jacket* bangunan lepas pantai proses kerja robot pengelasan dan proses proses persiapan pengelasan struktur *jacket* . Data-data yang didapatkan dari hasil survey tersebut dapat digunakan untuk menentukan bagian-bagian dari struktur *jacket* yang bisa dilas menggunakan robot dan yang tidak, serta waktu dan biaya untuk menunjang proses produksi, kebutuhan robot pengelasan dan operator robot, pabrik yang tepat untuk proses produksi.

Dari aspek pasar, hal yang dilakukan yaitu melakukan peramalan terhadap perkiraan jumlah struktur *jacket* yang di las. Tahapan terakhir adalah melakukan perhitungan biaya investasi, yang meliputi biaya investasi peralatan robot dan suku cadang ,peralatan lain yang menunjang dan bangunan termasuk melakukan perhitungan terhadap biaya operasional tiap jam orang. Kemudian melakukan perhitungan NPV, IRR, *payback period* sehingga diketahui apakah penggunaan robot pada pengelasan struktur *jacket* bangunan pantai layak diimplementasikan.

Berikut akan diuraikan mengenai langkah – langkah dalam penelitian agar proses penelitian tidak menyimpang dari sasaran yang akan dicapai. Adapun tahap-tahap dalam penelitian Tugas Akhir ini meliputi beberapa bagian, antara lain :

1. Tahap Identifikasi.
2. Tahap Pengumpulan Data
3. Tahap Analisis dan Pembahasan
4. Kesimpulan dan Saran

III.1 Tahap Identifikasi

Tahap identifikasi merupakan langkah awal dalam proses pengerjaan Tugas Akhir. Dalam tahap ini langkah penelitian dimulai dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang akan diteliti, kemudian menentukan tujuan dari penelitian ini. Tahap ini dilanjutkan dengan mengadakan studi literatur mengenai teori-teori pendukung dan studi lapangan terhadap perusahaan yang akan diteliti.

III.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini ditentukan topik penelitian serta pokok permasalahan yang akan diangkat dan diteliti. Hal ini bermaksud agar penelitian dapat terfokus pada masalah yang akan diteliti.

III.3 Penentuan Tujuan Penelitian

Setelah menentukan masalah yang akan diteliti, ditentukan juga tujuan dari penelitian yang akan dilakukan, agar penelitian tetap terfokus pada pencapaian tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

III.4 Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan dengan melihat dan mempelajari secara langsung pekerjaan reparasi, proses bisnis yang terdapat dalam perusahaan serta pengumpulan data yang terkait untuk pengerjaan tugas akhir, meliputi :

1. Proses Pengelasan

Mengumpulkan data-data macam-macam pengelasan konvensional, materi pengelasan konvensional yang ada.

2. Teknik Pengelasan Robot

Mengumpulkan data tentang robot pengelasan: hasil pengelasan, macam macam gerakan robot las, dan faktor yang mempengaruhi

3. Biaya Produksi Pengelasan

Mengumpulkan data biaya yang dibutuhkan dalam dalam proses pengelasan konvensional dan biaya pengelasan robot kombinasi dengan pengelasan konvensional

4. Peralatan dan Perlengkapan Robot Las

Mengumpulkan data macam-macam alat kerja dan Bahan yang dibutuhkan dalam pengelasan menggunakan robot.

5. *Material Consumable*

Mengumpulkan data kebutuhan *consumable* yang dapat digunakan sebagai bahan pengelasan konvensional dan robot

III.5 Analisa Data

1. Mengidentifikasi peralatan kerja dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pengelasan dan dihitung nilai pengadaan dari peralatan kerja yang dibutuhkan untuk menunjang produksi struktur *jacket* bangunan lepas pantai tersebut
2. Mengidentifikasi *material consumable* yang dibutuhkan dalam pengelasan konvensional dan robot las serta dihitung nilai pengadaan dari *material consumable* sebagai dukungan yang berkesinambungan.
3. Mengidentifikasi macam – macam *joint* struktur *jacket* bangunan lepas pantai dan materi yang berkaitan dari lapangan yang akan disesuaikan dengan pengelasan menggunakan *welding robotic*.
4. Mengidentifikasi pengelasan Robot: standar pengelasan, gerakan kebebasan robot, hasil pengelasan, dan faktor yang mempengaruhi

III.6 Tahap Analisa Teknis dan Ekonomis Pengelasan Robot

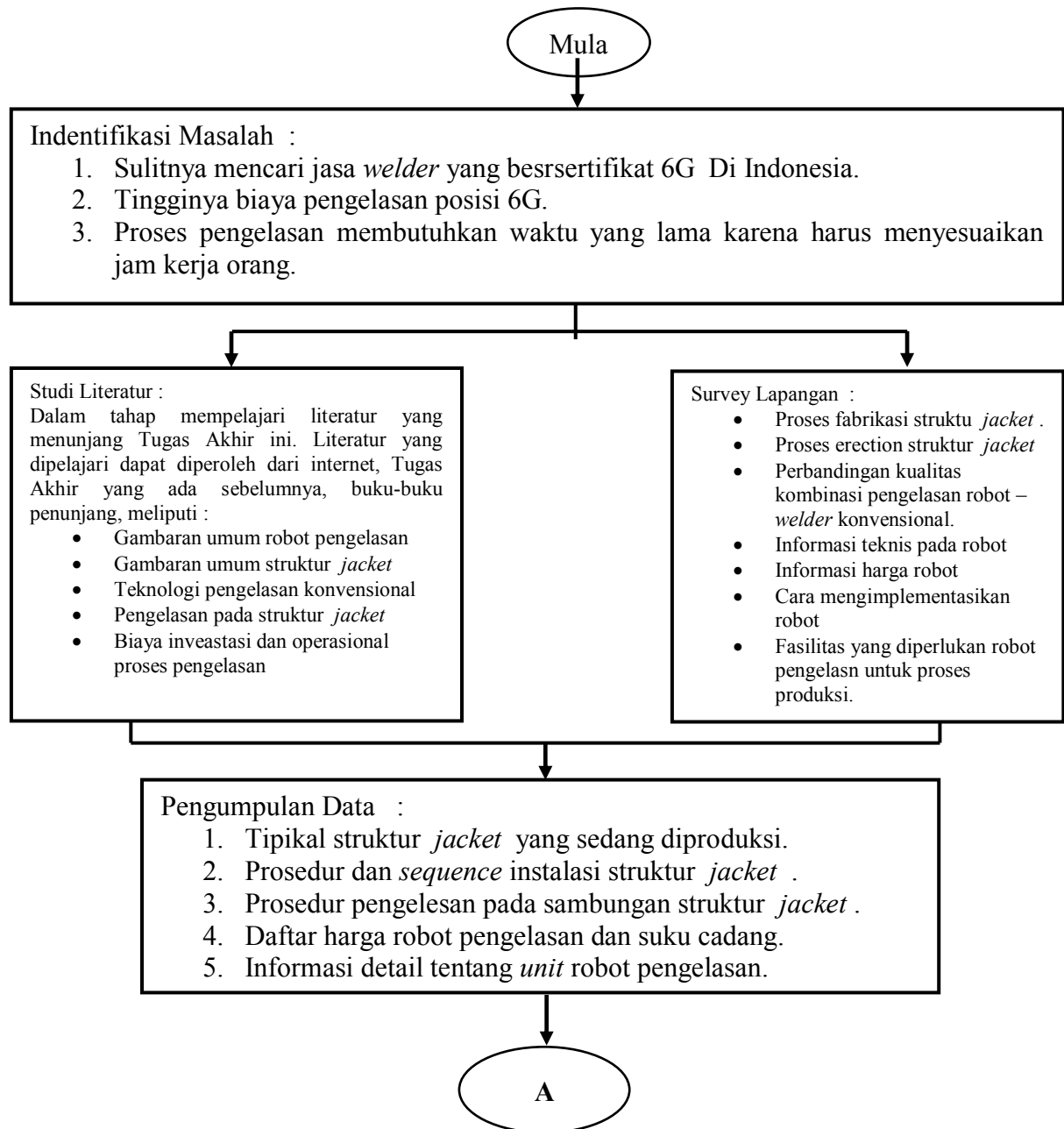
Data – data yang diperoleh dilapangan selanjutnya diolah untuk menganalisa secara teknis dan ekonomis. Data pertama berupa data teknis pengelasan konvensional yang didapat, selanjutnya dianalisa bagaimana penerapan teknis *welding robotic* pada struktur *jacket* dengan cara waktu, kecepatan, kualitas, dan fleksibilitas dari robot pengelasan. Data yang kedua adalah berupa data biaya-biaya yang dikeluarkan dalam proses pengelasan diantaranya yaitu biaya investasi pembelian robot pengelasan, biaya operasional robot, biaya pengeluaran untuk kebutuhan material robot pengelasan dan gaji *welder*, selanjutnya dianalisa seberapa banyak jumlah biaya pengelasan konvensional pada struktur *jacket* yang bisa dikurangi jika menggunakan metode kombinasi pengelasan konvensional dengan *welding robotic*. Kemudian dari perbandingan-perbandingan secara teknis dan ekonomis tersebut sehingga mendapat analisa kelayakan penggunaan robot pengelasan pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai

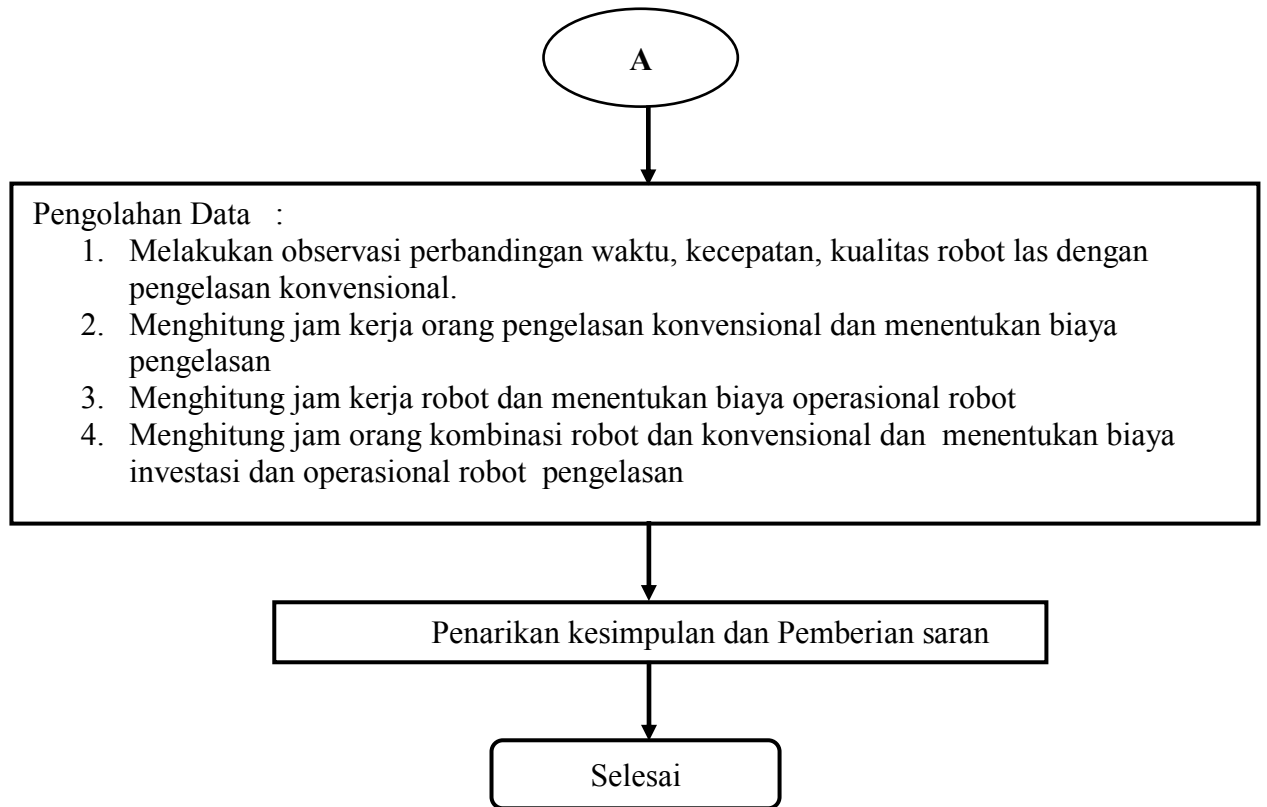
III.7 Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir dari Tugas Akhir ini adalah membuat kesimpulan dari analisa teknis ekonomis penggunaan robot pengelasan pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai.

III.8 Diagram Alir

Metodologi penelitian menggambarkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Penyusunan metodologi bertujuan agar proses pengerjaan Tugas Akhir ini dapat terstruktur dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Adapun diagram alir dari proses pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar III. 1 Diagram Alir

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PROSES PENGELASAN KONVENSIONAL STRUKTUR *JACKET* BANGUNAN LEPAS PANTAI

IV.1 Kondisi Pengelasan

Penggunaan mesin robot pada proses pengelasan sangat membantu manusia dalam melakukan pekerjaan. Penggunaan tersebut terutama pada proses pengelasan yang membutuhkan ketelitian dan akurasi. Dalam industri bangunan lepas pantai yang menjadi prioritas utama adalah hasil las lalu kemudian tingkat efisiensinya. Akan tetapi, manusia juga memiliki peranan yang penting dalam hal mengontrol sistem tersebut karena semua proses dijalankan atas perintah manusia.

Dalam proses produksi bangunan lepas pantai saat ini masih terdapat kendala-kendala selama proses fabrikasi terutama pada proses pengelasan, sejauh ini masih menggunakan mesin-mesin las konvensional yang membutuhkan *welder* bersertifikasi 6G. Di Indonesia *welder* dengan sertifikasi 6G sangat sulit dicari, ditambah posisi las *overhead* yang paling sulit dilakukan oleh *welder*, selain itu biaya yang dikeluarkan dengan tenaga manual ini cukup besar dan memakan waktu yang cukup lama.

Oleh karena itu untuk menghindari hal tersebut maka perlu peran robot las dalam proses fabrikasi struktur *jacket*, karena struktur *jacket* banyak terdapat sambungan-sambungan las yang bisa menggunakan robot las.

Tabel IV. 1 Penggolongan Juru Las

No	Golongan	Keahlian minimum yang harus dimiliki
1.	Juru Las kelas I	1G, 2G, 3G, 4G, 5G, dan 6G
2.	Juru Las Kelas II	1G, 2G, 3G, dan 4G
3.	Juru Las kelas III	1G dan 2G

(Sumber Siti Fariya, 2014)

Penggolongan Juru Las telah dijelaskan pada Tabel IV.1, dapat dilihat Tabel IV adalah penggolongan juru las untuk masing-masing kelas *welder* konvensional mulai dari kelas 1 terdiri dari *welder* yang memiliki keahlian posisi 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, dan 6G dimana kelas *welder* ini yang sangat dibutuhkan dalam mengelas struktur *jacket* bangunan lepas pantai

untuk kelas II *welder* yang memiliki keahlian las 1G, 2G, 3G, dan 4G, sedangkan kelas 3 adalah *welder* memiliki keahlian 1G dan 2G

IV.2 Teori Pengelasan Konvensional

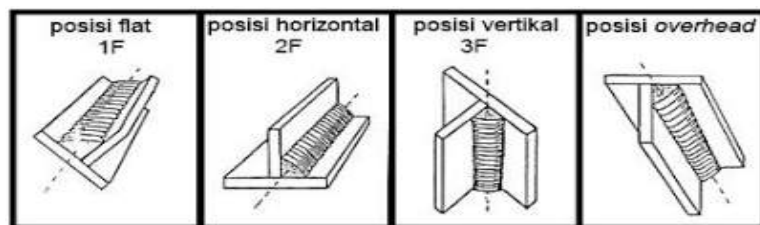
Sambungan pada material dasar atau logam yang berkaitan dengan pengelasan mempunyai jenis yang bervariasi, mulai dari sambungan tumpul (*Butt Joint*), sambungan fillet (*T Joint*), sambungan sudut (*Corner Joint*) atau sambungan tumpang (*Lap Joint*).

Jenis-jenis sambungan tersebut tentunya mempunyai maksud dan tujuan tersendiri. Hal ini berkaitan juga dengan posisi pengelasan. Itulah sebabnya dikenalkan berbagai jenis posisi pengelasan. Untuk plat dapat disebut posisi pengelasan 1F, 2F, 3F dan 4F ada juga 1G, 2G, 3G dan 4G. Sedangkan pada pipa ada 1G, 2G, 5G dan 6G.

Jenis sambungan dan posisi pengelasan di atas dapat diaplikasikan untuk pengelasan SMAW, GTAW, GMAW dan FCAW.

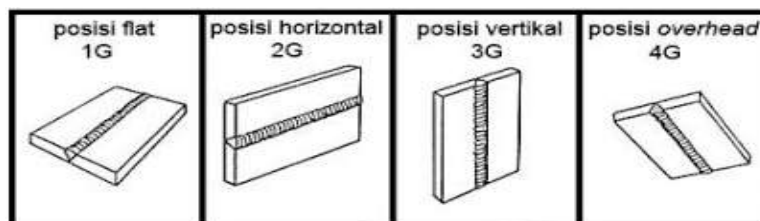
Untuk lebih jelas mengenai posisi pengelasan bisa lihat pada gambar berikut.

- Jenis sambungan fillet (*T Joint*) ada posisi 1F (datar), 2F, 3F dan 4F seperti tampak pada Gambar IV.1:



Gambar IV. 1 Jenis Sambungan Fillet (*T Joint*)

- Jenis sambungan plat biasa ada posisi 1G (datar), 2G, 3G dan 4G, dapat dilihat pada Gambar VI.2



Gambar IV. 2 Jenis Sambungan Groove (*Butt Joint*)

- Jenis sambungan pengelasan pada pipa ada 1G, 2G, 5G dan 6G, dapat dilihat pada gambar VI.3 :



Gambar IV. 3 Macam Macam Posisi Pengelasan
(Sumber : Fadel Hidayat, 2016)

Jenis sambungan 1G artinya bahwa pada saat pengelasan posisi tetap datar namun pipanya yang diputar. Sedangkan pada posisi 5G kedudukan pipa tetap namun posisi pengelasan mengikuti alur.

Tabel IV. 2 Daftar Pengelompokan Pekerjaan Las

No.	Jenis Konstruksi	Jurus Las kelas 1	Jurus Las kelas 2	Jurus Las kelas 3
1.	Ketel –ketel uap, bejana tekan, aparat, industri kimia dan industri perminyakan	Sambungan – sambungan pada bagian – bagian yang pengendali tekanan (<i>over drul – over drul</i>) misalnya badan silindris, front dinding, pipa-pipa sebagai penguat dinding, plendes sabung, sambungan pipa dan pipa-pipa bertekanan	tangan, penyangga, isolasi, bagian dari dapur pengapian ketel uap	Pekerjan – pekerjaan yang tidak menderita tekanan salat – salat bagian luar
2.	Mesin dan alat kerja	Penyangga lager kerang turbin, konstruksi roda, plendes-plendes dan lain-lain bagian mesin	Penguat – penguat , konsul – konsul, lubang – lubang inspeksi dan lain – lain.	Roda – roda peladeran, konstruksi dudukan yang ringan pela-pelat pelindung.
III	Alat-alat angkat dan transport	Penyangga –penyangga jembatan pemuat, <i>giokon, voorkramen</i>	Pekerjaan las sabungan pada pekerjaan golongan I dengan sifat sederhana dan sedang tromol lier (<i>Winch</i>) kerangka lier, bodes – bondes penguat – penguat.	Kotak kotak pelindung, tangga dan anak tangga, potor – potor ballast
IV	Konstruksi baja	Alat – alat angkat, (kran) pintu air mentah khusus	Kolom – kolom, pelat dasar, penggantung – penggantung ketel bejana tekan.	Got – got. Pipa – pipa, jendela , jendela, balok – balok dinding
V	Jembatan	Dlurung Induk (<i>hoofdlinggers</i>) peyangga – penyangga melintang, <i>diagonal – diagonal</i> dan batang – batang vertikal, penguat – penguat , penyangga – penyanagga angin.	Bordes – bordes, konsel – konsel tangga	Pekerjaan – pekerrjaan pipa, salurran, got- got
VI	Saluran – saluran pipa.	Pipa – pipa uap , pipa pa penyalur bahan yang kerofis, mudah terbakar, beracun, saluran – saluran pipa yang dipakai pada suhu rendah.	Pipa – pipa air dingin, distribusi gas sejauh pekerjaannya dilakukan secara cepat dan sederhana.	

VII	Peralatan dan kereta api	Pelintang – pelintang (katel, drasi, <i>wieg</i> , <i>balk</i>), balok – balok bumper, konstruksi bagian – bagian penyangga kereta, sabungan pokok dan pelintang.	Lokomotif – lokomotif dan kereta – kereta kerangka	Konstruksi ringan seperti langit – langit, kerangka atap kereta, dinding – dinding dan lain – lain.
-----	--------------------------	--	--	---

(Sumber : Peraturan Menteri No 2 Tahun 1982)

Pengelompokan Pekerjaan Las berdasarkan jenis konstruksi telah dijelaskan pada Peraturan Menteri No. 2 Tahun 1982, dapat dilihat Tabel IV.2 untuk pekerjaan pengelompokan pekerjaan las membangun struktur *jacket* bangunan lepas pantai terdapat pada nomer VI, saluran pipa dimana pada konstruksi *jacket* seluruhnya adalah material pipa.

IV.3 Penggunaan dan Pengembangan Teknologi Las Saat Ini

Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan sebagainya.

Disamping itu untuk pembuatan las, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang coran, membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya.

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta keadaan sekitarnya.

Pengembangan Teknologi Las

1. Las Busur Listrik

Selama berabad-abad las tempa dipakai sebagai proses utama untuk menyambung logam tanpa banyak mengalami perkembangan. Pada awal abad 19, ditemukan cara baru yaitu las busur nyala listrik (*Electric Arc Welding*) dengan *elektroda* carbon batangan tanpa pembungkus dengan menggunakan *battery* sebagai sumber tenaga listrik. Kelemahan utama proses las listrik carbon adalah oksidasi yang relatif tinggi pada lasan (lasan mudah karat) sehingga las ini banyak dipakai.

Pada waktu yang bersamaan, tahun 1877, ditemukan las tahanan (*Resistance Welding*). Seorang ahli fisika dari Inggris, James Joule, diakui sebagai penemunya. Pada tahun 1856 dia memanaskan dua batang kawat dengan aliran listrik. Selama proses pemanasan, kedua kawat

tersebut ditekan satu sama lain. Ternyata kedua kawat tersebut saling terikat setelah selesai dipanaskan.

Pada perkembangan selanjutnya, *resistance welding* menghasilkan beberapa jenis proses pengelasan, misal las flash (*Flash Welding*) pada tahun 1920. las tahanan listrik mencapai kejayaannya setelah diciptakan berbagai jenis robot. Untuk memenuhi kebutuhan dikembangkan berbagai bentuk las tahanan listrik yang meliputi las titik, interval, seam (garis) dan proyeksi. Las ini dalam prosesnya menerapkan panas dan tekan. *Elektroda* berfungsi sebagai penyalur arus dan penekanan benda kerja berbentuk plat.

Pada decade berikutnya, diperkenalkan las thermit (*Thermit Welding*) berdasarkan proses kimiawi sehingga menambah kesan teknologi pengelasan. Las *thermit* diperoleh dengan menuangkan logam cair diantara dua ujung logam yang akan disambungkan sehingga ikut mencair. Setelah membeku kedua logam menyatu dan cairan logam yang dituangkan berfungsi sebagai bahan tambah.

Pada akhir abad 19 ditemukan las *oxy acetylene*, las ini berhasil menggeser pemakaian las tempa dan mendominasi proses pengelasan untuk beberapa decade sampai dikembangkan las listrik.

Pada tahun 1925 las *oxy acetylene* digeser oleh adanya perbaikan las busur listrik yang mana las busur tersebut memakai *elektroda* terbungkus. Setelah terbakar, pembungkus *elektroda* menghasilkan gas dan terak. Gas melindungi kawah lasan dari oksidasi pada saat proses pengelasan sedang berlangsung. Terak melindungi lasan selama proses pembekuan hingga dingin (sampai terak dibersihkan). Keterbatasan las busur *elektroda* batangan adalah panjang elektroda yang terbatas sehingga setiap periode tertentu pengelasan harus berhenti mengganti *elektroda*. Efisiensi bahan tambah jauh dari 100% karena mesti ada puntungnya.

Bertitik tolak dari kelemahan tersebut maka pada akhir tahun 1930an diciptakan las busur *elektroda* gulungan. Secara prinsip, pengelasan tidak perlu berhenti sebelum sampai ujung jalur las. Dan pengelasan dapat dilakukan dengan cara semi otomatis atau otomatis. Sebagai pelindung dipakai *flux*. *Flux* dituangkan sesaat dimuka *elektroda* sehingga busur nyala listrik terpendam oleh *flux*. Keuntungannya, operator tidak silau oleh busur nyala listrik, kelemahannya, las terbatas pada posisi dibawah tangan saja pada posisi lain *flux* akan jatuh berhamburan sebelum berfungsi.

Pada tahun 1941 di Amerika ditemukan *elektroda tungsten*. *Tungsten* tidak mencair oleh panasnya busur nyala listrik sehingga tidak terumpan dalam lasan. Sebagai pelindung dipakai gas inti (*Inert*) yang untuk beberapa saat dapat bertahan pada kondisinya. Gas inti

disemburkan ke daerah lasan sehingga lasan terhindar dari oksidasi. Karena menggunakan las inti sebagai bahan pelindung las ini sering disebut las *TIG* (*Tungsten Inert Gas*).

Keberhasilan pemakaian gas inti pada alas *tungsten* dicoba pula pada alas elektroda gulungan pada awal tahun 1950an. Proses ini selanjutnya disebut *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau las MIG (*Metal Inert Gas*). Karena gas argon sangat mahal maka dipakai gas campuran argon dan oksigen atau gas CO yang cukup aktif. Las ini biasa disebut dengan *Metal Active Gas* (MAG). Dapat pula dipakai pelindung campuran argon dengan CO selama tidak lebih dari 20% hasilnya cukup baik karena tidak meninggalkan terak. Perlu diketahui bahwa gas pelindung lebih mahal, maka cara tersebut hanya dipakai untuk keperluan khusus.

Berikutnya ditemukan las busur *elektroda* gulungan dengan pelindung lasan berupa serbuk. Supaya dapat dipakai pada segala posisi, elektroda dibuat berlubang seperti pipa untuk menempatkan *flux*. Proses ini relative lebih murah dari pada las busur gas dapat untuk segala posisi dan teknis pengelasan dapat dikembangkan secara semi otomatis atau otomatis penuh las ini disebut las busur elektroda berinti *flux* (*Flux Core Arc Welding*) Selanjutnya ada elektroda sebagai komponen yang akan dipasang pada bagian lain. Las ini disebut las stud. Stud terpasang pada benda utama melalui tiga tahap yaitu setting posisi, pencarian ujung stud dan benda utama dan penekanan stud pada benda utama sesaat setelah busur nyala dimatikan.

Setelah itu dikembangkan las listrik frekuensi tinggi yaitu 10000 sampai 500000 Hz. Las listrik frekuensi tinggi sering disebut las induksi. Ditinjau dari proses penyatuan benda kerja, las ini termasuk las padat yang dibantu dengan panas untuk memecah lapisan oksidasi atau kotoran pada permukaan benda kerja. Panas yang dihasilkan sangat tipis dipermukaan benda kerja sehingga las ini sangat cocok untuk plat tipis.

Pada tahun 1950an, diubahnya energi listrik menjadi seberkas electron yang ditembakkan benda kerja. Panas yang dihasilkan lebih besar dan dimensi bekas electron jauh lebih kecil dari busur nyala listrik, pengelasannya sangat cepat maka sangat cocok untuk produksi massal. Daerah panas menjadi lebih sempit sehingga sangat cocok untuk bahan yang sensitive terhadap perubahan panas. Kualitas lasan sangat baik dan akurasi, hanya saja peralatannya sangat mahal. Cara ini biasa disebut las *electron* (*Electron Beam Welding*).

2. Las Gesek

Pada tahun 1950, AL Chudikov, seorang ahli mesin dari Uni Sovyet, mengemukakan hasil pengamatannya tentang teori tenaga mekanik dapat diubah menjadi energi panas. Gesekan yang terjadi pada bagian-bagian mesin yang bergerak menimbulkan banyak kerugian

karena sebagian tenaga mekanik yang dihasilkan berubah menjadi panas. Chudikov berpendapat, proses demikian mestinya bisa dipakai pada proses pengelasan. Setelah melalui percobaan dan penelitian dia berhasil mengelas dengan memanfaatkan panas yang terjadi akibat gesekan. Untuk memperbesar panas yang terjadi, benda kerja tidak hanya diputar tetapi ditekan satu terhadap yang lain. Tekanan juga berfungsi mempercepat fusi. Cara ini disebut las gesek (*Friction Welding*).

3.Las Plasma

Las plasma busur nyala listrik (*Plasma Arc Welding*). Proses plasma sebenarnya merupakan penyempurnaan las *tungsten*, hanya saja busur nyala listrik tidak muncul diantara elektroda dengan benda kerja tetapi muncul antara ujung elektroda dengan gas inti yang mengalir di sekitarnya. Las plasma ternyata lebih baik dari las *tungsten* karena busur nyala listrik yang muncul lebih stabil dengan diameter lebih kecil sehingga panasnya lebih terpusat. Proses pengelasan bisa lebih cepat, disamping itu *tungsten* tidak pernah menyentuh benda kerja.

4.Las Suara

Awal tahun 1960 ditandai dengan penemuan las yang menggunakan suara frekuensi tinggi (*Ultrasonic Welding*). Las ini juga menggunakan listrik dalam proses kerjanya, tidak ada aliran listrik pada benda kerja, panas yang ditimbulkan semata-mata hasil proses dan sifatnya hanya membantu dalam proses penyatuan benda kerja.

Suara yang digunakan berkisar antara 10000 sampai 175000 Hz, getaran suara disalurkan melalui *sosotrode* yang dipasang pada benda kerja. Kemudian tekanan yang diterapkan pada benda kerja selama proses. Kelebihan proses ini adalah sesuai untuk benda tipis dan tidak terpengaruh jenis bahan yang disambungkan. Tidak dipakainya energi panas sebagai energi utama merupakan kelebihan sendiri pada bahan tertentu dan tipis, hanya saja kurang berhasil untuk ketebalan benda kerja diatas 2,5mm x 2.

Berbagai bentuk las ultrasonic:

- *Wedge reed spot.*
- *Leteral drive spot.*
- *Overthung copuler spot.*
- *Line.*
- *Ring.*
- *Continuous seam.*

5. Las eksplosive (Explosive *Welding* atau EXW)

Las eksplosive (*Explosive Welding* atau *EXW*) dikembangkan dari pengamatan seseorang dimasa PD I, ada pecahan-pecahan bom yang melekat kuat pada logam lain yang tertumbuk. Carl dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa pecahan bom tersebut menempel karena efek jet pada saat terjadi tumbukan. Efek jet mampu membersihkan kotoran yang melekat pada permukaan kedua benda sehingga terjadi kontak antar atom kedua benda dan menghasilkan ikatan yang cukup kuat.

6. Las Laser

Menjelang tahun 1970, laser mulai diterapkan pada las laser sebagai sinar dapat diatur secara akurat sehingga las laser sangat sesuai untuk peralatan-peralatan khusus.

Las laser dapat dipakai untuk mengelas benda-benda dengan ketebalan 0,13mm sampai 29mm pada kecepatan geser berkisar dari 21 mm/dt sampai 1,2 mm/dt. Persoalan yang timbul pada las laser sama halnya dengan las *electron*, kerenggangan benda kerja sangat kecil antara 0,03 sampai 0,15 sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena perlu adanya kesepakatan dalam hal-hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasi tersebut pada waktu ini dapat dibagi dua golongan yaitu klasifikasi berdasarkan kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

IV.4 Teknologi Pengelasan Konvensional

IV.4.1 Jenis-jenis Pengelasan Listrik

1. Mesin Las Listrik

Mesin las AC/DC yang telah ditunjukkan pada Gambar IV.5 merupakan mesin las pembangkit arus AC/DC yang digunakan pada proses las GTAW, Sekarang ini teknologi pengelasan telah berkembang pesat termasuk pada mesin-mesin las sekarang yang telah canggih, ada beberapa yang masih manual, tapi dewasa ini mesin las telah banyak yang otomatis, sebagai contoh *miller serie dynasty 200*, penggunaan mesin ini praktis karena ukurannya tidak terlalu besar namun busur las yang dihasilkan amat stabil. Mesin las listrik dapat pada Gambar IV.4



Gambar IV. 4 Mesin Las 500 Amphere
(Sumber : simplywelding.blogspot.com)

Spesifikasi	
Voltage	220 Volt
Name	YAMATO WELDING MACHINE 500A -COPPER
Rate Frekuensi	60 Hz
Duty Cycle : 60%	45%
Rate Input Capacity	42/21 KVA
Output Current	320-500 Amp

2. *Welding glove/Argon glove*

Salah satu peralatan yang amat penting untuk melakukan proses las GTAW adalah *argon glove*, fungsinya untuk melindungi tangan *welder* dari bahaya radiasi sinar yang dihasilkan pada saat proses las berlangsung juga melindungi tangan *welder* pada saat melakukan penggerindaan, *Welding Glove* Atau *Argon Glove* dapat dilihat pada Gambar IV.5



Gambar IV. 5 *Welding Glove/Argon Glove*
(Sumber : simplywelding.blogspot.com)

3. *Welding safety helmet/Welding shielding*

Welding safety helmet adalah alat berupa *helm safety* yang terbuat dari plastik pada seluruh permukaan, dengan menggunakan kaca mata hitam. Fungsi dari helm ini untuk melindungi mata pengguna dan daerah sekitar wajah maupun kepala. Jadi salah satu pelengkapan *welding* ini harus di pakai saat melakukan pengelasan. Untuk *welding safety helmet* di desain 2 bentuk untuk daerah wajah saja dan full face yang melindungi seluruh kepala. *Welding safety helmet* dapat dilihat pada Gambar IV.6.



Gambar IV. 6 *Welding Shielding / Kap Las*
(Sumber : simplywelding.blogspot.com)

4. *Shielding gas/Gas pelindung*

Pada proses las GTAW wajib hukumnya menggunakan gas pelindung untuk melindungi daerah busur las, gas yang biasa digunakan adalah argon dan helium. *Shielding gas* dapat dilihat pada Gambar IV.7.



Gambar IV. 7 *Shielding gas/Gas pelindung*
(Sumber : simplywelding.blogspot.com)

5. Regulator gas pelindung/*Gas flowmeter*

Regulator gas pelindung adalah pengatur tekanan gas yang akan digunakan di dalam pengelasan gas *tungsten*. Pada regulator ini biasanya ditunjukkan tekanan kerja dan tekanan gas di dalam tabung juga menunjukkan besarnya aliran gas pelindung. Regulator gas pelindung dapat dilihat pada Gambar IV.8.



Gambar IV. 8 Regulator gas pelindung/*Gas flowmeter*

(Sumber : *simplywelding.blogspot.com*)

6. Kabel dan Selang gas dan perlengkapan pengikatnya

Kabel dan selang gas yang ditunjukkan pada Gambar IV.9 berfungsi sebagai menghantarkan arus dari mesin las menuju stang las, begitu juga aliran gas dari mesin las menuju stang las. Sedangkan perangkat pengikat berfungsi mengikat selang dari tabung menuju mesin las dan dari mesin las menuju pembakar las.



Gambar IV. 9 Kabel dan selang gas dan perlengkapan pengikatnya

(Sumber : *simplywelding.blogspot.com*)

7. Stang las/*TIG torch*

Stang las adalah bagian komponen peralatan las yang berfungsi untuk menyatukan sistem las yang berupa penyalan busur dan perlindungan gas lindung selama dilakukan proses pengelasan. Stang las dapat dilihat pada Gambar IV.10.



Gambar IV. 10 Stang las/*TIG torch*
(Sumber : *simplywelding.blogspot.com*)

8. Elektroda *tungsten*

Berfungsi sebagai pembangkit busur nyala selama dilakukan pengelasan. Elektroda ini tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Elektroda *tungsten* dapat dilihat pada Gambar IV.11



Gambar IV. 11 Elektroda *tungsten*
(Sumber : *simplywelding.blogspot.com*)

9. Kawat las/*Filler metal*

Yakni bahan tambah yang dibutuhkan untuk mengisi sambungan las seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV.12. Untuk proses GTAW/FCAW sendiri spesifikasinya dapat dilihat di AWS A5.18



Gambar IV. 12 Kawat las/*Filler metal*
(Sumber : *simplywelding.blogspot.com*)

IV.4.2 Ketrampilan *Welder*

Mutu dari hasil pengelasan, bergantung pada keahlian operator atau juru ataupun tukang las sendiri. Cara mengelas yang buruk dapat mengakibatkan kerusakan fatal baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang mulai dari kasus sederhana seperti pipa ledeng yang bocor ataupun ke hal-hal yang lebih fatal seperti runtuhnya bangunan berkonstruksi baja yang menggunakan bahan yang di las. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.13 terdapat seorang *welder* yang melakukan pekerjaan las pada material pipa.



Gambar IV. 13 Proses Pengelasan Pipa 5G
(Sumber : yoekibo-mesin.blogspot.co.id)

Pada saat proses pengelasan, kesalahan sering terjadi dan sambungan las jarang sekali jadi. Hal yang perlu diperhatikan adalah menghindari bara api pada bagian yang di las tanpa mengulangi las di tempat yang sama. Kalau hal itu terjadi, hubungan akan menjadi rapuh dan terbentuk titik awal retakan kecil. Selain itu, bagian logam yang bersebelahan dengan bagian yang di las tidak meleleh tetapi berubah karena panas. Pemanasan yang diikuti dengan pendinginan yang cepat bisa menghasilkan struktur logam seperti kaca, sehingga mudah retak.



Gambar IV. 14 Posisi *Welder* Pipa
(Sumber : wolusongo.wordpress.com)

Pada Gambar IV.14 menunjukan posisi pengelasan 5G yang dilakukan seorang *welder* sangat mempengaruhi hasil kualitas las, jika *welder* terlalu bergerak, maka akan sangat memungkinkan menghasilkan kualitas las yang buruk, jadi *welder* harus memposisikan *torch* pada material dengan kecepatan las konstan agar dapat hasil kualitas las yang baik

Untuk las konvensional yang menggunakan tenaga manusia, operator las dengan tangkai las yang menentukan berhasil tidaknya proses pengelasan. Karena operatorlah yang menentukan suhu cairan logam, memilih diameter elektroda las dengan kekuatan arus listrik dan mengatur jumlah gas dan tekanan kawat las, serta menentukan campuran kawat las dan posisi tangkai las. Operator las juga menghadapi situasi lingkungannya, baik musim yang nantinya berpengaruh pada hasil las, cuaca ekstrim, iklim lokasi yang perlu di las dan tantangan untuk pengelasan bawah laut. Otomatisasi dilakukan dengan bantuan robot las operator terbantu dengan sistem kontrol las yang diberikan. Robot diprogram sedemikian rupa untuk dapat memberikan kontrol jalur sambungan yang perlu di las dengan sistem pengikut sambungan melalui sensor yang diberikan.



Gambar IV. 15 Kondisi Pengelasan Struktur *jacket*
(Sumber : PT . PAL Indonesia)

Pada Gambar IV.15 menunjukan seorang *welder* sedang melakukan penyambungan *brace* pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai, dengan menggunakan peralatan las manual dengan jangkauan yang cukup mempersulit *welder*

Peran robot pengelasan dalam melakukan pekerjaannya tentu tidak akan membuat para tukang las akan tersisih, dan terjadi pengangguran baru. Karena robot pasti akan dapat bekerja lebih cepat, lebih bagus hasilnya, dan tidak pernah lelah, tapi yang perlu diperhatikan dalam tugas akhir ini adalah robot mempunyai batasan-batasan dalam melakukan tugasnya, struktur *jacket* bangunan lepas pantai tidak seluruh sambungan menggunakan las robot karena karena tidak semua bagian-bagian struktur dapat dilas robot, oleh karena itu juga perlu ada kombinasi dengan ahli *welder* manual untuk mengelas sambungan-sambungan yang sulit dijangkau oleh lengan robot.

Dalam tugas akhir ini penggunaan robot pengelasan adalah untuk melakukan pengelasan pada sambungan-sambungan *brace* yang bertipe *K-Joint* dan *X-Joint* karena banyak terdapat type sambungan yang sama pada struktur *jacket* sehingga akan lebih ekonomis karena dilas menggunakan robot yang mampu melakukan banyak pekerjaan las pada struktur *Joint brace* dengan type yang sama. Robot las dapat digunakan untuk mengelas struktur *jacket* yaitu *brace* tipe X, *brace* tipe K, *brace* tipe *diagonal* tunggal, maupun tipe perangkaan kombinasi dari ketiga tipe tersebut.

Untuk menganalisa penggunaan robot las pada industri bangunan lepas pantai ini dapat mengurangi biaya produksi maka perlu dihitung perbandingan waktu kecepatan robot, dengan *welder*, dan dari segi ekonomis dihitung perbandingan biaya pengeluaran penggunaan las robot dengan *welder* tanpa bantuan robot las, dan investasi awal untuk pembelian robot, Untuk mengetahui seberapa ekonomis penggunaan robot las maka perlu dilakukan perhitungan perbandingan jam orang yang dikerjakan *welder* dan kecepatan robot, sehingga bisa menentukan biaya jasa *welder* tiap jam orang, oleh karena itu harus diketahui dimensi ukuran pipa yang di las *welder* dan manusia.

IV.4.2 Faktor yang mempengaruhi kualitas las

1. Teknik Pengelasan

Faktor utama yang menentukan seberapa baguskah mutu pengelasan yang dilakukan oleh seorang pekerja adalah teknik pengelasan yang digunakan. Faktor ini menimbulkan pengaruh langsung terhadap hasil dari pekerjaan las. Beberapa aspek terkait teknik pengelasan ini di antaranya posisi mengelas, kecepatan mengelas, dan bentuk kampuh sambungan. Tidak hanya aspek-aspek tadi, ukuran elektroda las serta brander las yang digunakan pun turut andil dalam mempengaruhi seberapa rapi pekerjaan pengelasan yang dilakukan.

2. Bahan Logam

Sebelum dilas, logam harus dikenai panas terlebih dahulu sampai meleleh dan wujudnya berubah menjadi lumer. Menariknya sifat logam yang disambung juga dipengaruhi oleh proses pendinginannya kembali. Jika logam tersebut didinginkan secara perlahan-lahan, maka sifatnya akan berubah menjadi kenyal. Sedangkan bila didinginkan secara mendadak dalam waktu yang cukup cepat, maka karakteristik logam akan menjadi getas.

Perubahan kimia yang terjadi pada logam tadi disebabkan oleh susunan unsur-unsur di dalamnya, khususnya unsur karbon (C). Hal ini dikarenakan logam yang meleleh pada temperatur tinggi lebih banyak mengandung gas dibandingkan logam yang meleleh pada suhu rendah. Akibatnya pengelasan yang keliru akan menimbulkan efek keropos.

Guna mencegah terjadinya pengeroposan, bahan pelindung (*fluks*) perlu ditambahkan sewaktu proses pengelasan tengah berlangsung. Usahakan pula supaya logam-logam yang akan disambung mempunyai titik lebur yang sama. Alhasil, proses pembuatan sambungan las pun akan menciptakan hasil yang sempurna.

3. Pengaruh Panas

Pengaruh panas yang mengenai sambungan las dapat menyebabkan terjadinya ekspansi dan pemuaian. Hal ini mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan sekunder yang diinginkan di sekitar sambungan tersebut. Proses pendinginan pada logam yang dilas akan melewati proses pembekuan. Jika tidak diperhatikan dengan benar, proses tersebut akan menyebabkan terbentuknya lubang-lubang halus akibat reaksi oksida dan pemisahan.



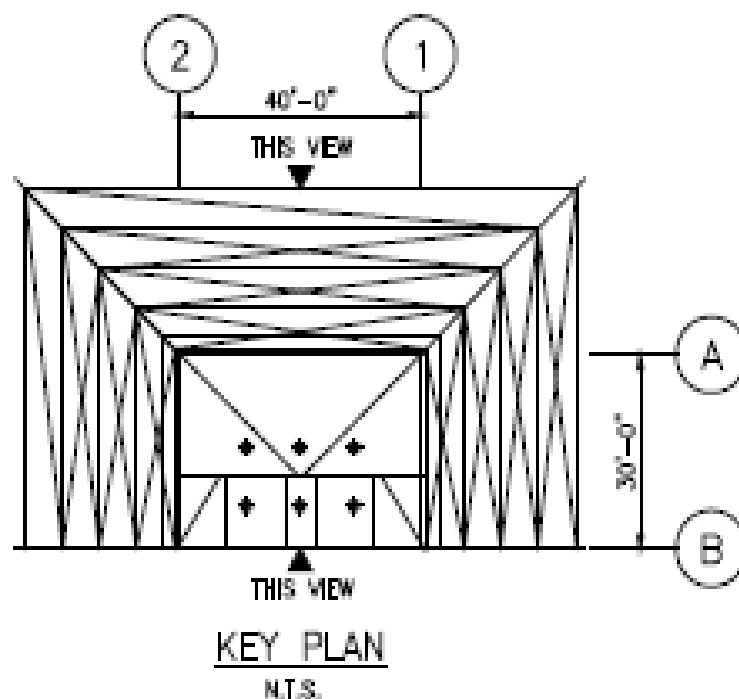
Gambar IV. 16 Kualitas Hasil Pengelasan *Welder* Konvensional
(Sumber : Alibaba.com)

Pada Gambar IV. 16 menunjukkan perbandingan kualitas hasil las yang buruk dengan hasil las yang baik. Kualitas hasil las juga di pengaruhi karena faktor lingkungan, sehingga dibutuhkan teknik dan lingkungan yang mendukung. Hal ini juga berpengaruh sama dengan pengelasan pipa struktur *jacket* bangunan lepas pantai.

IV.4.4 Spesification Platform

Equipment Layout :

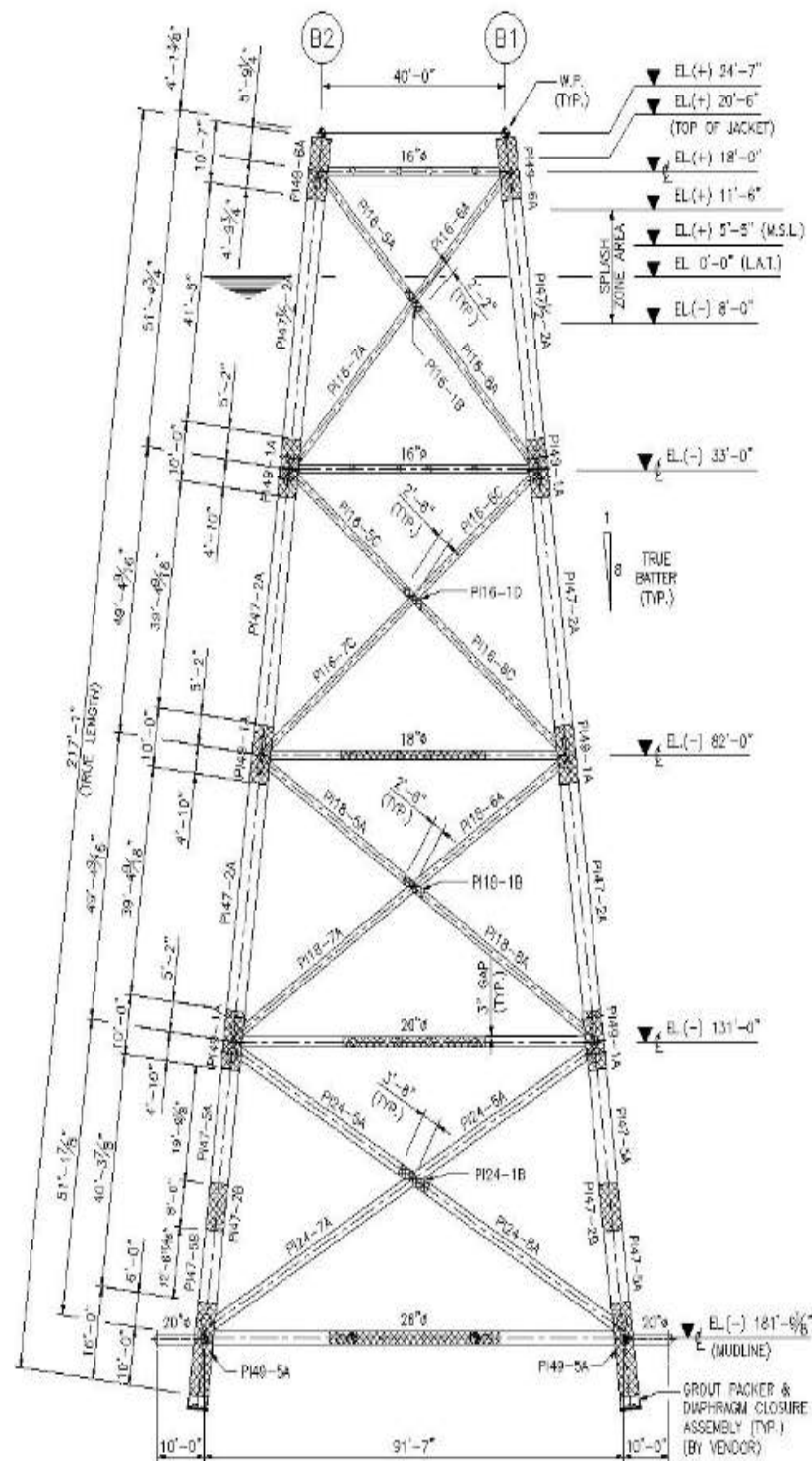
- *Spacing Leg* = 91 x 55 ft²
- *Jacket Batter* = Type A & B
- *Jacket Plan Elevation* = 4
- *Elevation Mudline* = 181 ft
- *Soil data* = 6
- *No Piping Load*
- *No Conductor Pile*
- *Crane Rest Boom*



Gambar IV. 17 Pandangan Atas HCML Project

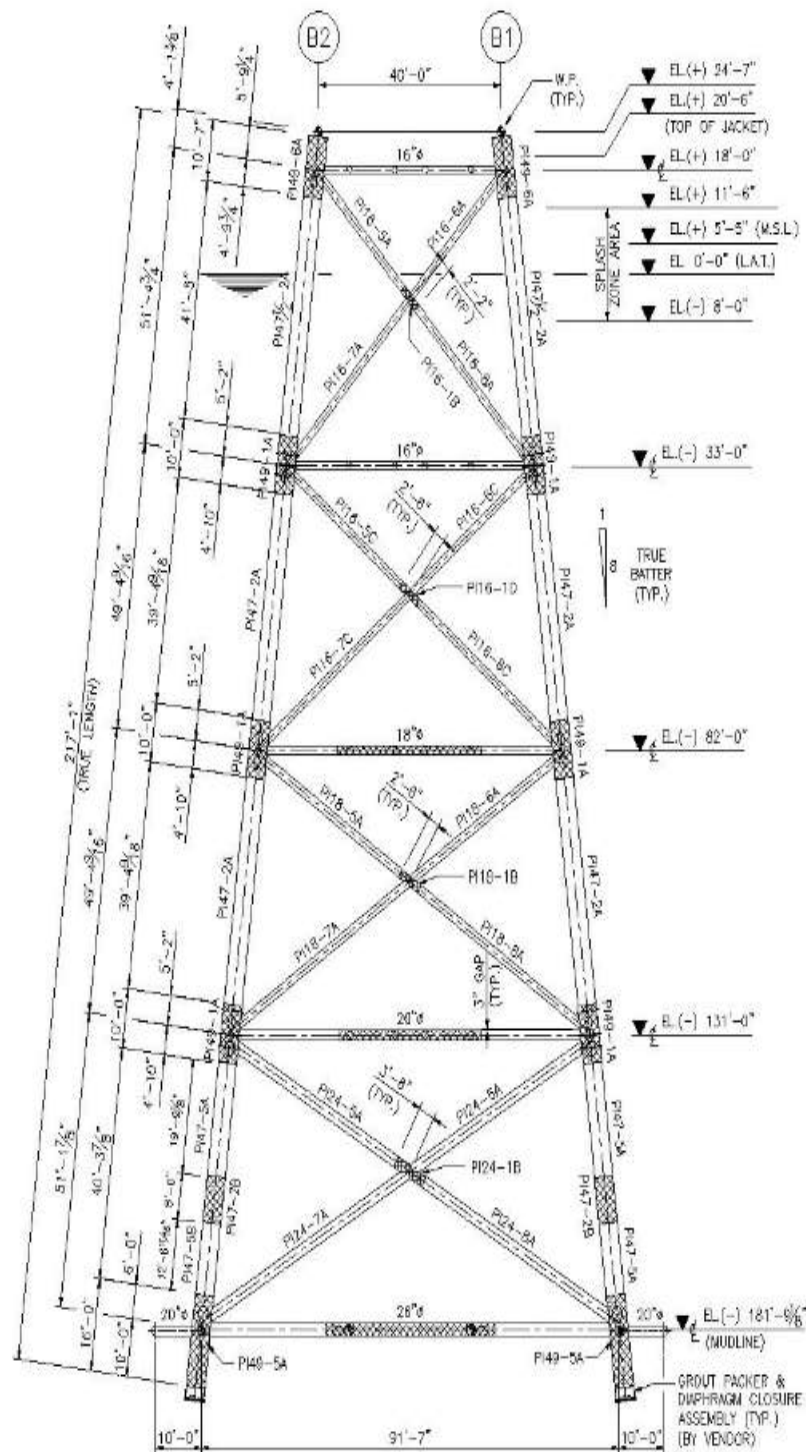
(Sumber : PT. PAL Indonesia)

48



Gambar IV. 18 *Elevation ROW B HMCL Project*
(Sumber : PT . PAL Indonesia)

Untuk detail dimensi dari struktur *jacket* pada *project* HCML yang dikerjakan di PT PAL Indonesia pada *leg* B1 dan B2 dapat dilihat pada Gambar IV.19.

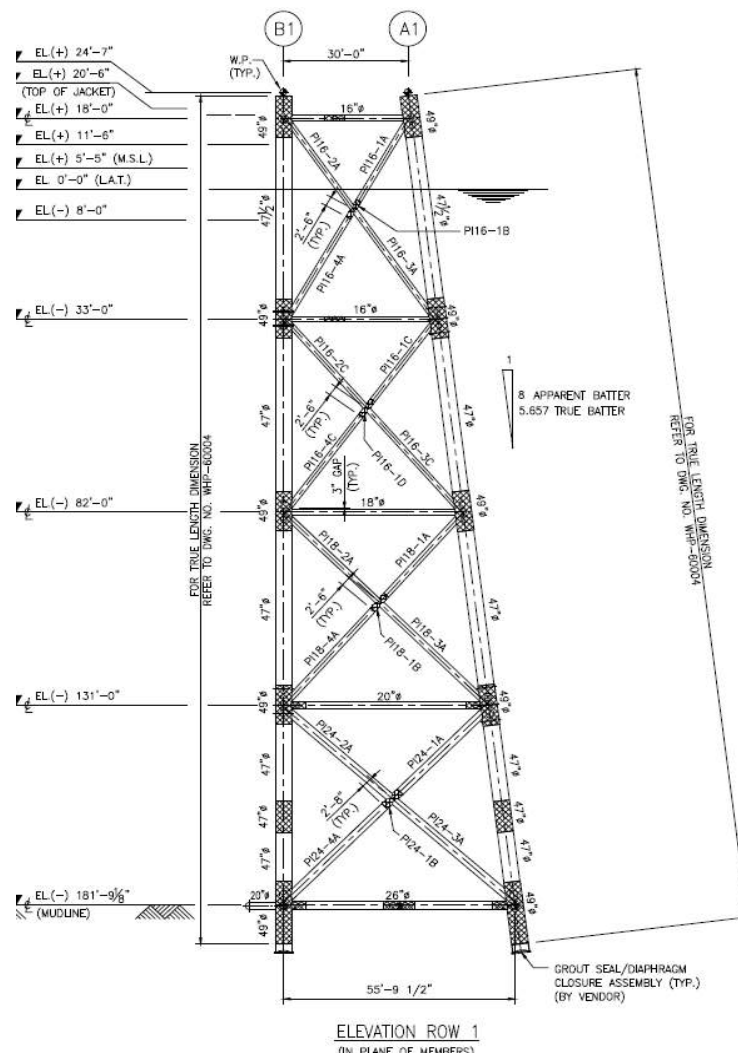


Gambar IV. 19 Elevation ROW A HMCL Project
(Sumber : PT . PAL Indonesia)

Equipment Layout :

- *Spacing Leg* = 91 x 55 ft²
- *Jacket Batter* = Type 1 & 2
- *Jacket Plan Elevation* = 4
- *Elevation Mudline* = 181 ft
- *Soil data* = 6
- *No Piping Load*
- *No Conductor Pile*
- *Crane Rest Boom*

Tipikal struktur *jacket* pada sisi A1 dan B1 dapat dilihat pada Gambar IV.20



Gambar IV. 20 Elevation ROW Leg A1 dan B2 HCML Project
(Sumber : PT PAL Indonesia)

[illegible]

51

IV.5 Dimension Detail Material *Pipe jacket* Structure HCML Project

Dari data gambar tipikal struktur *jacket* sebelumnya pada bagian ini akan di tunjukan detail ukuran-ukuran atau dimensi dari setiap *item* material yang akan dilakukan proses instalasi dan penyambungan menjadi bagian-bagian blok dan kemudian semua bagian-bagian blok tersebut dijadikan satu menjadi *grand block* struktur *jacket* bangunan lepas pantai dan telah dilakukan perhitungan sebelumnya.

Tabel IV. 3 Data *Elevation ROW A*

Elevation ROW A												
NO	ITEM	Description	Material		Length/ Area	QTY	Total LG. Area	Unit	Weight	Total Weight	Length las2an	Length las2an
			Category	type					(LBS/FT.)	(LBS)	(mm)	(cm)
1	PI49-2A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,17	2	20,34	FT	1004,88	20431,20	1244,6	124,46
2	PI49-3A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,25	2	20,50	FT	1004,88	20600,02	1244,6	124,46
3	PI49-4A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,33	2	20,66	FT	1004,88	20760,80	1244,6	124,46
4	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	2	II A	16,00	4	64,00	FT	1004,88	64312,24	1244,6	124,46
5	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,58	4	42,32	FT	1004,88	42539,87	1244,6	124,46
5	PI47½-1A	49"øx1.000"W.T	1	II B	41,83	2	83,66	FT	618,02	51495,76	1244,6	124,46
6	PI47-1A	49"øx1.000"W.T	1	II B	39,51	2	79,02	FT	491,75	38858,02	1244,6	124,46
7	PI47-3A	49"øx1.000"W.T	1	II B	19,49	2	38,98	FT	491,75	19173,10	1244,6	124,46
8	PI47-3B	49"øx1.000"W.T	1	II B	12,89	2	25,78	FT	491,75	12672,79	1244,6	124,46
9	PI47-4A	49"øx1.000"W.T	1	II B	39,38	2	78,76	FT	491,75	38730,17	1244,6	124,46
10	PI47-2B	49"øx1.000"W.T	2	II A	8,00	4	32,00	FT	491,75	15735,97	1244,6	124,46
11	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	30,65	1	30,65	FT	160,35	4914,73	1553,4	155,34
12	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	18,91	1	18,91	FT	160,35	3031,67	1553,4	155,34
13	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	38,00	1	38,00	FT	160,35	6093,30	1726,5	172,65
14	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	21,08	1	21,08	FT	160,35	3380,78	1726,5	172,65
15	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	4,32	2	8,64	FT	197,1	1702,94	1604,4	160,44
16	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1	II B	35,03	1	35,03	FT	102,73	3598,63	1611	161,10
17	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1	II B	15,76	1	15,76	FT	102,73	1618,47	1611	161,10
18	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	1	II B	40,36	1	40,36	FT	102,73	4146,18	1849,7	184,97
19	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	1	II B	18,22	1	18,22	FT	102,73	1871,54	1849,7	184,97
20	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	160,35	1603,53	1570,6	157,06
21	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	40,05	1	40,05	FT	116,09	4649,40	1561,8	156,18
22	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	14,33	1	14,33	FT	116,09	1663,94	1561,8	156,18
23	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	44,22	1	44,22	FT	116,09	5133,50	1744,3	174,43
24	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	16,87	1	16,87	FT	116,09	1958,40	1744,3	174,43
25	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	149,20	1492,00	1594,7	159,47
26	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	45,60	1	45,60	FT	245,87	11211,67	1517,5	151,75
27	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	12,80	1	12,80	FT	245,87	3146,43	1517,5	151,75
28	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	49,06	1	49,06	FT	245,87	12062,38	1650,7	165,07
29	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	52,56	1	52,56	FT	245,87	12922,93	1650,7	165,07
30	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	7,00	2	14,00	FT	318,21	4454,96	1666,8	166,68

Pada Tabel IV.3 merupakan dimensi/ukuran pipa *diagonal brace* dan *elevation ROW A leg* pada bangunan HCML Project. Pada Tabel IV.3 dapat dilihat untuk pipa kaki *jacket* dengan diameter 49 inch sedangkan untuk pipa *brace* dengan diameter 20 inch. Serta didapat nilai panjang alur las-las pada pipa.

Tabel IV. 4 Data *Elevation ROW B*

Elevation ROW B												
NO	ITEM	Description	Material		Length/	QTY	Total LG./	Unit	Weight	Total Weight	Length las2an	Length las2an
			Category	type	Area		Area		LBS/FT.	(LBS)	(mm)	(cm)
1	PI49-1A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,00	6	60,00	FT	1004,9	60292,73	1244,6	124,46
2	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	2	II A	16,00	4	64,00	FT	1004,9	64312,24	1244,6	124,46
3	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	2	II A	10,58	4	42,32	FT	1004,9	42539,87	1244,6	124,46
4	PI47½-2A	49"øx1.000"W.T	1	II B	41,42	2	82,84	FT	618,02	51197,37	1244,6	124,46
5	PI47-5A	49"øx1.000"W.T	1	II B	19,76	2	39,52	FT	491,75	19434,34	1244,6	124,46
6	PI47-5B	49"øx1.000"W.T	1	II B	12,56	2	25,12	FT	491,75	12350,08	1244,6	124,46
7	PI16-5A	20"øx1.000"W.T	1	II B	28,36	1	28,36	FT	160,35	4547,53	1553,4	155,34
8	PI16-6A	20"øx1.000"W.T	1	II B	30,52	1	30,52	FT	160,35	4893,88	1553,4	155,34
9	PI16-7A	20"øx1.000"W.T	1	II B	39,99	1	39,99	FT	160,35	6412,40	1726,5	172,65
10	PI16-8A	20"øx1.000"W.T	2	II A	37,82	1	37,82	FT	160,35	6064,44	1726,5	172,65
11	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	4,32	2	8,64	FT	197,1	1702,94	1604,4	160,44
12	PI16-5C	20"øx1.000"W.T	1	II B	32,42	1	32,42	FT	102,73	3330,51	1611	161,10
13	PI16-6C	20"øx1.000"W.T	1	II B	34,92	1	34,92	FT	102,73	3587,33	1611	161,10
14	PI16-7C	20"øx1.000"W.T	1	II B	42,72	1	42,72	FT	102,73	4388,63	1849,7	184,97
15	PI16-8C	20"øx1.000"W.T	1	II B	40,22	1	40,22	FT	102,73	4131,80	1849,7	184,97
16	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	160,35	1603,53	1570,6	157,06
17	PI18-5A	20"øx1.000"W.T	1	II B	37,45	1	37,45	FT	116,09	4347,57	1561,8	156,18
18	PI18-6A	20"øx1.000"W.T	1	II B	39,95	1	39,95	FT	116,09	4637,80	1561,8	156,18
19	PI18-7A	20"øx1.000"W.T	1	II B	47,10	1	47,10	FT	116,09	5467,84	1744,3	174,43
20	PI18-8A	20"øx1.000"W.T	1	II B	44,60	1	44,60	FT	116,09	5177,61	1744,3	174,43
21	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	149,20	1492,00	1594,7	159,47
22	PI24-5A	20"øx1.000"W.T	1	II B	42,01	1	42,01	FT	245,87	10329,00	1517,5	151,75
23	PI24-6A	20"øx1.000"W.T	1	II B	45,51	1	45,51	FT	245,87	11189,54	1517,5	151,75
24	PI24-7A	20"øx1.000"W.T	1	II B	52,45	1	52,45	FT	245,87	12895,88	1650,7	165,07
25	PI24-8A	20"øx1.000"W.T	1	II B	48,95	1	48,95	FT	245,87	12035,34	1650,7	165,07
26	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	7,00	2	14,00	FT	318,21	4454,96	1666,8	166,68

Pada Tabel IV.4 diketahui ukuran dimensi pipa untuk *diagonal brace* dan *Leg elevation ROW B* pada bangunan HCML Project, seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.4.

Tabel IV. 5 Data *Elevation ROW 1 dan 2*

Elevation ROW 1 & 2												
NO	ITEM	Description	Material		Length/	QTY	Total LG./	Unit	Weight	Total Weight	Panjang Las2an	Panjang Las2an
			Category	type	Area		Area		(LBS/FT.)	(LBS)	(mm)	(cm)
1	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	25,36	2	50,72	FT	160,35	8132,95	1689,3	168,93
2	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	29,39	2	58,78	FT	160,35	9425,37	1742,5	174,25
3	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	35,76	2	71,52	FT	160,35	11468,23	1901,2	190,12
4	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	31,35	2	62,70	FT	160,35	10053,95	1823,8	182,38
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	197,1	1971,00	1567,4	156,74
6	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1	II B	26,40	2	52,80	FT	102,73	5424,14	1820,4	182,04
7	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1	II B	30,63	2	61,26	FT	102,73	6293,24	1898,3	189,83
8	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	1	II B	35,80	2	71,60	FT	102,73	7355,47	2142,4	214,24
9	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	1	II B	31,23	2	62,46	FT	102,73	6416,52	2021,5	202,15
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	160,35	1603,53	1598,3	159,83
11	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	28,21	2	56,42	FT	116,09	6549,80	1739,6	173,96
12	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	32,60	2	65,20	FT	116,09	7569,07	1801,7	180,17
13	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	37,23	2	74,46	FT	116,09	8644,06	1991,3	199,13
14	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	32,54	2	65,08	FT	116,09	7555,14	1898,3	189,83
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,00	2	10,00	FT	149,20	1492,00	1573,7	157,37
16	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1	II B	30,42	2	60,84	FT	245,87	14958,73	1674,9	167,49
17	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1	II B	35,12	2	70,24	FT	245,87	17269,91	1724,9	172,49
18	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1	II B	39,52	2	79,04	FT	m	19433,56	1874,9	187,49
19	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1	II B	34,53	2	69,06	FT	245,87	16979,78	1801,7	180,17
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	2	II A	5,33	2	10,66	FT	318,21	3392,12	1570,6	157,06

Untuk dimensi/ukuran pipa *brace* dan *Leg elevation ROW Leg 1* dan *Leg 2* pada bangunan HCML *Project* dapat dilihat pada Tabel IV.5.

Tabel IV. 6 Data Elevasi ROW A & B (*Horizontal*)

PIPA LURUS ROW A & B		
No	Description	length(mm)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4
2	20"øx1.000"W.T	1455,4
3	20"øx1.000"W.T	1455,4
4	20"øx1.000"W.T	1455,4
5	20"øx1.000"W.T	1455,4
6	20"øx1.000"W.T	1455,4
7	20"øx1.000"W.T	1455,4
8	20"øx1.000"W.T	1455,4
9	20"øx1.000"W.T	1455,4
10	20"øx1.000"W.T	1455,4
11	20"øx1.000"W.T	1455,4
12	20"øx1.000"W.T	1455,4
13	20"øx1.000"W.T	1455,4
14	20"øx1.000"W.T	1455,4
15	20"øx1.000"W.T	1455,4
16	20"øx1.000"W.T	1455,4
17	20"øx1.000"W.T	1455,4
18	20"øx1.000"W.T	1455,4
19	20"øx1.000"W.T	1455,4
20	20"øx1.000"W.T	1455,4

Pada Tabel IV.6 menunjukkan dimensi/ukuran pipa *horizontal brace elevation ROW A* pada bangunan HCML dengan ukuran diameter pipa 20 inch dan tebal 1 inch.

Tabel IV. 7 Elevasi ROW A1 & A2 (*Horizontal*)

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2		
No	Description	length(mm)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4
2	20"øx1.000"W.T	1455,4
3	20"øx1.000"W.T	1455,4
4	20"øx1.000"W.T	1455,4
5	20"øx1.000"W.T	1455,4
6	20"øx1.000"W.T	1455,4
7	20"øx1.000"W.T	1455,4
8	20"øx1.000"W.T	1455,4
9	20"øx1.000"W.T	1455,4
10	20"øx1.000"W.T	1455,4

Pada Tabel IV.7 menunjukkan dimensi/ukuran pipa *horizontal brace elevation ROW A1* dan *A2* pada bangunan HCML *Project*.

Tabel IV. 8 Elevasi *ROW* B1 & B2 (*Horizontal*)

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2		
No	Description	length(mm)
1	20"øx1.000"W.T	1449,6
2	20"øx1.000"W.T	1449,6
3	20"øx1.000"W.T	1449,6
4	20"øx1.000"W.T	1449,6
5	20"øx1.000"W.T	1449,6
6	20"øx1.000"W.T	1449,6
7	20"øx1.000"W.T	1449,6
8	20"øx1.000"W.T	1449,6
9	20"øx1.000"W.T	1449,6
10	20"øx1.000"W.T	1449,6

Sedangkan untuk dimensi/ukuran pipa *horizontal brace elevation ROW* B1 dan B2 pada bangunan HCML *Project* , seperti yang ditunjukkan dilihat pada Tabel IV.8 .

IV.6 Tahap-tahap Instalasi *Fit-up* dan Pengelasan Konvensional Pada Struktur *Jacket*

Berkaitan dengan proses instalasi *fit-up* dan pengelasan struktur *jacket* bangunan lepas pantai, The *welding procedure qualification test* (WPQT) atau tes kualifikasi pengelasan juga diperlukan agar bisa terbukti Bahwa WPS yang akan digunakan memenuhi syarat yang telah ditentukan , dan menghasilkan kualitas yang baik. Selama pengujian, semua parameter yang diperlukan harus dicatat dalam dalam form PQR (Prosedure). Setelah pengujian selesai , dilakukan inspeski visual. Sesuai dengan standart yang ditentukan dalam ASME atau AWS D1.1 harus dilakukan, mana saja yang berlaku, Kemudian lakukan tes NDE (24 jam untuk mild steel, 48 jam untuk high strenght steel).

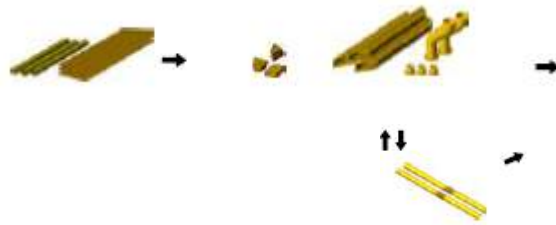
Uji Kualifikasi *Welder* (WQT)

Semua *welder* harus memenuhi syarat sebelum diberikan proyek tugas untuk mengelas struktur *jacket* bangunan lepas pantai. Kualifikasi tukang las harus dilakukan pada saat yang sama. Persyaratan yang ditentukan dalam WPS.

Sedangkan untuk Spesimen yang telah selesai dilakukan pengujian kemudian dilakukan inspeksi visual dan lali Ikuti dengan tes NDE seperti di bawah ini

- *Radhiographic Test* 100% untuk semua *butt joint* yang memenuhi syarat untuk 6GR, 6G, 3G / 4G, 1G
- 100% *Ultrasonic Test* untuk 6GR dan SAW-1G
- MPI untuk *Fillet Welded*
- Makro untuk sudut akut

Setelah semua material bahan dan *welder* memenuhi standar yang telah ditentukan maka bahan material siap untuk produksi dan dilakukan proses instalasi pengelasan oleh *welder* yang sudah memenuhi standart kualifikasi. Untuk tahap proses instalasi *fit-up* struktur *jacket* dan pengelasan konvensional dapat dilihat pada tahap-tahap yang akan dijelaskan sebagai berikut.



Gambar IV. 22 Persiapan Meterial dan Bahan

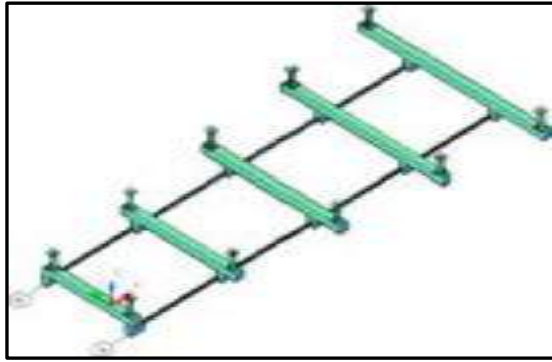
1. Persediaan material dan bahan
2. Dilakukan proses *marking*, pemotongan, membuat profil & *butt joint*
 - Membuat semua *horizontal frame* 2,5 jam untuk 1 diagonal *brace*
 - *Cutting* dan *grinding* untuk *Leg* 4 jam
 - Disesuaikan posisinya dan las dan kemudian cek dimesi
 - Dilakukan pengujian NDE & NDT
3. Dilakukan blasting dan dan pelapisan *premier coat* (*splash zone* hingga *frame* paling atas) dan komponen struktur *jacket* lainnya

Proses *cutting*, *marking* pada *Leg* membutuhkan waktu 4 jam dikerjakan oleh 2 orang, dan *grinding* 2 jam dikerjakan 2 orang jadi 1 orang 2 jam. Sedangkan untuk *cutting*, *marking*, *grinding* pada *diagonal brace* dan *horizontal brace* membutuhkan waktu 2,5 jam.



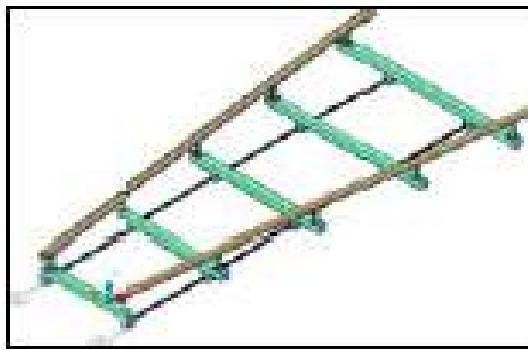
Gambar IV. 23 Membuat *Skid Shoc*

4. Membuat dan memasang *skid shoc*
5. Dan setting *skid* hingga posisi akhir



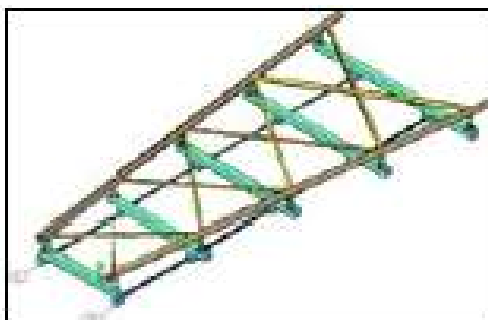
Gambar IV. 24 Pemasangan *cross beam* dan *saddle*

6. Membuat dan memasang *Cross beam* dan *saddle*
7. Dan setting hingga posisi akhir



Gambar IV. 25 *Assembly Leg B1* dan *Leg B2*

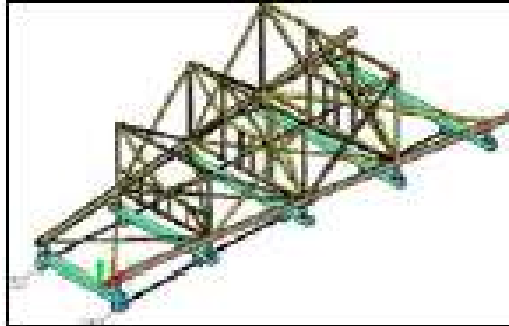
8. Kemudian instalasi dan perakitan *Leg A1* dan *B1* pada pondasi *cross beam* kemudian *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan dan membutuhkan waktu instalasi 5 jam dengan 3 *fitter*
9. Kemudian *welder* mulai mengelas dengan posisi 5G pada seluruh sambungan *Leg B1* dan *B2* setting hingga posisi akhir



Gambar IV. 26 *Assembly Diagonal Brace*

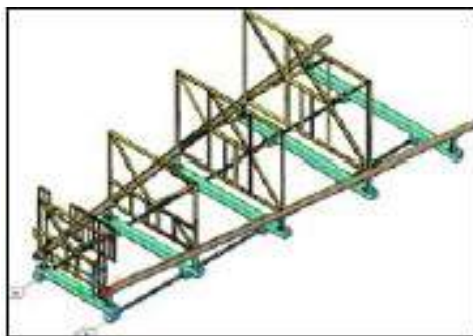
10. Instalasi dan perakitan *diagonal brace Leg B1* dan *B2* diposikan atau di *fit-up* diatas pondasi *cross beam* kemudian *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*

11. Setting *fit-up* hingga posisi akhir
12. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai melakukan pengelasan pada seluruh sambungan *diagonal brace* B1 dan B2



Gambar IV. 27 *Assembly Middle Horizontal Framing*

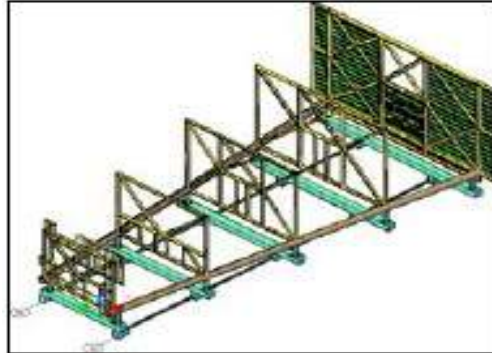
13. Instalasi dan perakitan *horizontal middle framing* yang sebelumnya *horizontal middle framing* dibuat terpisah sebelum disambung pada *leg* kemudian *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*, sebelum dilakukan pengelasan pada seluruh sambungan *horizontal frame* di ikat tali baja (*wire rob sting*) yang berfungsi sebagai *stoper*. Untuk instalasi *fit-up diagonal brace* mebutuhkan waktu 2 jam dengan 2 *fitter*
14. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
15. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan *horizontal brace* dengan *Leg B1* dan *Leg B2*, dan dilakukan cek dimensi ulang



Gambar IV. 28 *Assembly Top Horizontal Framing*

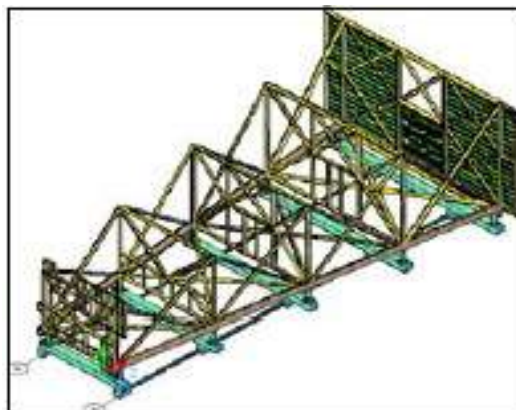
16. Instalasi dan perakitan *Top horizontal framing* kemudian *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*, sebelum dilakukan pengelasan pada seluruh sambungan *top horizontal frame* di ikat tali baja (*wire rob sting*) yang berfungsi sebagai *stoper*. Untuk instalasi *fit-up* masing –masing *horizontal framing* membutuhkan waktu *fit-up* 5 jam dengan 3 *fitter*.
17. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.

18. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan top *horizontal frame* tepat pada *brace* dengan *Leg B1* dan *Leg B2*, dan dilakukan cek dimensi ulang.



Gambar IV. 29 Assembly Bottom Horizontal Framing

19. Instalasi dan perakitan bottom *horizontal framing* kemudian *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*, sebelum dilakukan pengelasan pada seluruh sambungan bottom *horizontal frame* di ikat tali baja (*wire rob sting*) yang berfungsi sebagai *stoper*. Untuk instalasi *fit-up* masing –masing bottom *horizontal framing* membutuhkan waktu sama dengan *horizontal framing* karena bentuk tipikal yang sama dengan waktu *fit-up* 5 jam dengan 3 *fitter*.
20. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
21. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan bottom *horizontal frame* tepat pada *brace* dengan *Leg B1* dan *Leg B2*, dan dilakukan cek dimensi ulang.

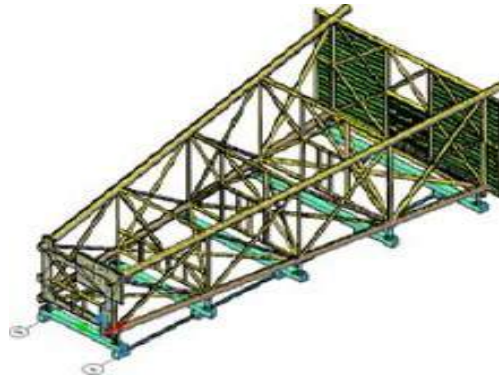


Gambar IV. 30 Assembly diagonal brace

22. Instalasi dan perakitan *diagonal brace elevation ROW 1* dan *2*. *Diagonal brace* dipasang sekaligus berfungsi sebagai *stopper* kemudian *welder* mulai mulai

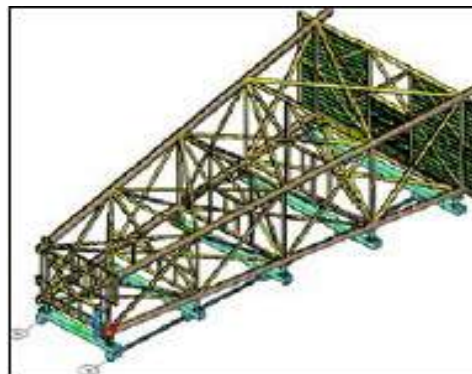
melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*. Waktu yang dibutuhkan untuk *fit-up Leg* EOW 1 dan 2 adalah 5 jam dengan 5 *fitter*

23. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
24. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan *diagonal brace elevation ROW* 1 dan 2, setelah itu dilakukan cek dimensi ulang.



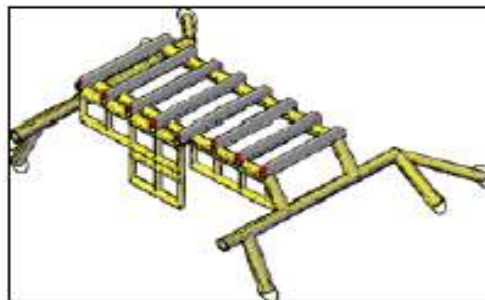
Gambar IV. 31 *Assembly Leg ROW A1 dan A2*

25. Instalasi dan perakitan *Leg A1* dan *A2* Sebelum *Leg 1* dan *Leg 2* dipasang pada struktur blok *Leg* berupa lonjoran pipa yang belum tersambung kemudian *welder* melakukan pengelasan untuk menyambung dan membuat menjadi satu bagian *leg A1* dan bagian *leg A2* setelah membuat 2 buah *Leg* yaitu *Leg A1* dan *Leg A2*, Kemudian dipasang dan *fit-up* dan *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*.
26. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
27. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan *Leg A1* dan *A2* disambungkan dengan *brace elevation ROW* 1 dan 2, setelah itu dilakukan cek dimensi ulang.



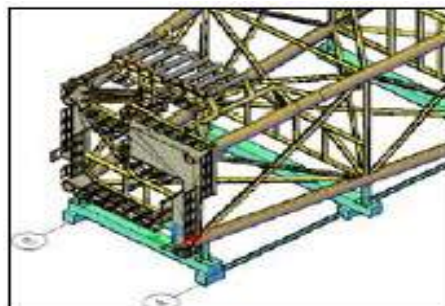
Gambar IV. 32 *Assembly Diagonal brace Elevation ROW A*

28. Setelah *leg elevation ROW A* terinstal kemudian *leg elevation ROW A* dilakukan penyambungan *diagonal brace* yang sudah sudah dalam bentuk struktur *X joint* dengan *leg elevation ROW A* yang sudah dipasang sebelumnya, sambungan *diagonal brace* sebelumnya dibuat terpisah dan dilakukan proses las oleh *welder* untuk membuat struktur *X joint*, setelah *diagonal brace* sudah dibuat, kemudian dipasang dan *fit-up* pada titik *leg* yang telah ditentukan dan *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan struktur *X joint diagonal brace*.
29. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
30. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan Struktur *X (diagonal brace)* disambungkan dengan *leg elevation ROW A*, setelah itu dilakukan cek dimensi ulang.



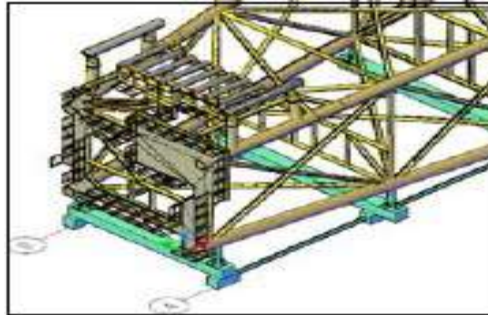
Gambar IV. 33 *Fabricated Boatlanding Framing*

31. Berikutnya membuat *frame boatlanding* yang berfungsi sebagai tempat bersandarnya kapal, *frame boatlanding* dibuat terpisah sebelum dilakukan penyambungan dengan struktur *jacket* dengan diisntall dan *fit-up rubber strip*, *shock cell* dan komponen baja lainnya
32. Setting *fit-up* hingga posisi akhir.
33. Setelah *fit-up* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan dan menghasilkan bangunan berupa blok *frame boatlanding*. Setelah itu dilakukan cek dimensi ulang.



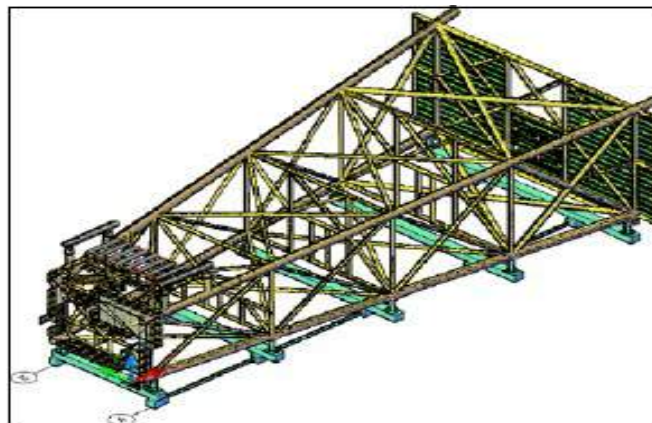
Gambar IV. 34 *Trial Fit Boatlanding*

34. Setelah boatlading sudah dibuat kemudian *boatlanding* siap disiap instal dan fit pada untuk disambungkan dengan struktur *jacket* dan dilakukan uji coba dengan disesuaikan posisis penyambungan dengan struktur *jacket* .



Gambar IV. 35 Fabricated Bumper

35. Berikutnya membuat *bumper* kemudian dipasang dan *difit-up* pada *boatlanding*, Setelah instal dan *fit-up* selesai, *welder* mulai melakukan *take weld* sebagai pengelasan awal untuk mengunci posisi sambungan *diagonal brace*
36. Mengatur *fit-up* hingga posisi akhir.
37. Setelah *fit-up take weld* selesai kemudian *welder* mulai mengelas pada seluruh sambungan bumper. Setelah itu dilakukan cek dimensi ulang



Gambar IV. 36 Instal to Final Position

38. Setelah struktur *jacket* seluruhnya tersambung kemudian penyesuaiaan penyesuaian fabrikasi
39. Pasang hingga hingga posisi terakhir.
40. Cek kepresisian, pengelasan , dillakukan check dimensi ulang.
41. Berikutnya dilkukan uji NDE untuk memporoleh detail karakteristik material dan las-lasan kemungkinan material atau hasil las-lasan terdapat cacat, crack, dan sebagainya.
42. Dilakukan pelapisan coating pada daerah splash zone dan struktur *jacket* bagian atas.

43. Fabrikasi struktur *jacket* selesai dan siap untuk Loadout

IV.7 Penentuan Jumlah Fasilitas Produksi Mesin Las Konvensional

Dalam proses fabrikasi struktur *jacket* bangunan lepas pantai diperlukan penentuan jumlah peralatan produksi berdasarkan jenis pekerjaan yang dilakukan selama proses pembangunan berlangsung. Pada sub-bab sebelumnya telah dijelaskan tahapan-tahapan berupa *building sequence* mulai dari bahan material mentah sampai jadi grand block struktur *jacket*. Berdasarkan *building sequence* pembangunan struktur *jacket* memiliki jenis pekerjaan yang hampir sama, hanya pada pembangunan struktur *jacket* hampir tidak ada pekerjaan pembentukan (*forming*) dan bending pada material.

Penentuan jumlah peralatan mesin las yang dibutuhkan pada masing-masing bengkel dihitung berdasarkan pada beban kerja yang harus dipenuhi oleh masing-masing bengkel produksi, dalam durasi waktu yang telah ditentukan dan/atau diasumsikan. Dalam perhitungan jumlah fasilitas produksi, di asumsikan kapasitas produksi pada masing-masing bengkel dan durasi pengerjaan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Bengkel fabrikasi pipa
 - Kapasitas produksi : 31,08 ton/hari
 - Durasi pengerjaan : 3 bulan
- Assembly area
 - Kapasitas produksi : 22,5 ton/hari
 - Durasi pengerjaan : 5 bulan
- *Erection* area
 - Kapasitas produksi : 15 ton/hari
 - Durasi pengerjaan : 6 bulan

Berdasarkan beban kerja yang telah diketahui dan durasi pengerjaan pada tiap bengkel tersebut, kebutuhan mesin dalam tiap bengkel dapat dihitung dengan membagi beban kerja terhadap produktifitas dari mesin yang digunakan. Untuk menentukan jumlah jumlah kebutuhan mesin, dapat digunakan formula sebagai berikut (Wignjosoebroto, 1991): :

$$N = \frac{T \times P}{60 \times D \times E}$$

di mana :

P : Output/beban kerja dalam 1 hari (ton/hari)

T : Durasi waktu pengerjaan yang dibutuhkan

D : Jam kerja mesin dalam 1 hari

E : Faktor efisiensi kerja mesin

N : Jumlah mesin yang dibutuhkan

Dalam perhitungan kebutuhan mesin las pada bengkel fabrikasi pipa. Dari hasil observasi di lapangan, dan mengacu pada beberapa referensi diasumsikan produktivitas sebuah mesin las adalah 0.2 ton/jam dengan jam kerja efektif dalam 1 hari adalah 7 jam. Mesin las yang digunakan diasumsikan memiliki *duty cycle* sebesar 80 %, sehingga waktu efektif dalam proses pengelasan adalah sekitar 6 jam. Di bawah ini merupakan Tabel perhitungan jumlah mesin las pada bengkel fabrikasi pipa :

- **Fabrikasi Pipa**

Mesin las ini digunakan untuk menyambungkan pelat dan profil serta pipa dengan *Flux Cored Arc Welding*. Adapun spesifikasi dari mesin las tersebut adalah:

Tabel IV. 9 Jumlah Mesin Las di Bengkel Fabrikasi Pipa

Welding Machine		
Berat Baja	:	700 ton
	:	2800 dia-inch
Durasi pengerjaan	:	3 bulan
	:	119 hari
Beban kerja	:	23,53 dia-inch/hari
	:	3,92 dia-inch/jam
waktu mesin bekerja	:	6 jam/hari
	:	360 menit/hari
Kecepatan Mesin	:	3,1 dia-inch/hari
Kebutuhan Mesin	:	7,59 mesin
	:	8 mesin

Dalam penentuan jumlah mesin las pada bengkel fabrikasi pipa berdasarkan perhitungan Tabel IV.9 dengan membagi beban kerja terhadap produktivitas dari mesin las maka bengkel fabrikasi pipa dibutuhkan 8 mesin las.

- ***Assembly Area***

Mesin las ini digunakan untuk menyambungkan pelat dan profil serta pipa dalam bentuk bagian blok kecil pada bengkel *assembly*. Adapun spesifikasi dari mesin las tersebut adalah:

Tabel IV. 10 Jumlah Mesin Las di Bengkel *Assembly*

ASSEMBLY AREA			
<u>Welding Machine</u>			
Berat Baja	:	440	ton
Durasi pengerjaan	:	5	bulan
	:	119	hari
Beban kerja	:	3,70	ton/hari
waktu mesin bekerja	:	6	jam/hari
	:	360	menit/hari
Produktifitas	:	0,12	ton/jam
Kebutuhan Mesin	:	5,14	mesin
	:	5	<u>mesin</u>

Dalam penentuan jumlah mesin las pada bengkel *assembly* perhitungan dapat dilihat Tabel IV.10 dengan membagi beban kerja terhadap produktivitas dari mesin las maka jumlah mesin las yang dibutuhkan adalah 5 mesin las.

- ***Erection Area***

Mesin las ini digunakan untuk menyambungkan pelat dan profil serta pipa dalam bentuk blok besar di sambung menjadi satu bangunan jadi pada bengkel *erection*. Adapun spesifikasi dari mesin las tersebut adalah:

Tabel IV. 11 Jumlah Mesin Las di Bengkel *Erection*

ERECTION AREA			
<u>Welding Machine</u>			
Berat Baja	:	700	ton
Durasi pengerjaan	:	6	bulan
	:	120	hari
Beban kerja	:	5,83	ton/hari
waktu mesin bekerja	:	6	jam/hari
	:	360	menit/hari
Produktifitas	:	0,12	ton/jam
Kebutuhan Mesin	:	8,10	mesin
	:	8	<u>mesin</u>

Dalam penentuan jumlah mesin las pada bengkel *erection* perhitungan dapat dilihat Tabel IV.11 dengan membagi beban kerja terhadap produktivitas dari mesin las maka jumlah mesin las yang dibutuhkan adalah 8 mesin las.

BAB V

PROSES PENGELASAN MESIN LAS ROBOT PADA STRUKTUR *JACKET*

V.1 Implementasi Robot Pengelasan

Mesin las robot (*Robotic Welding Machine*) merupakan suatu alat/perkakas yang sering digunakan dalam industri atau produksi. Khususnya dalam industri bangunan lepas pantai. Dalam perkembangan teknologi yang pesat diperlukan perkakas kerja yang canggih dan efisien untuk menunjang produksi yang tinggi dengan harga yang kompetitif. Perkembangan robotik dimulai pada awal tahun 2000-an. Tentunya robot sangat banyak digunakan pada mesin-mesin, contohnya mesin las robot. Suatu perusahaan lebih memilih menggunakan robot dibandingkan manusia dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhinya seperti efisien, presisi (akurat), afektif dan banyak lagi keunggulannya dibandingkan dengan tenaga manusia. Seiring dengan berjalannya waktu tenaga manusia akan semakin ditinggalkan dikarenakan tuntutan dari pekerja sangat tinggi oleh karena kebutuhan yang meningkat. Di setiap industri besar khususnya otomotif sudah melakukan pemerataan menggunakan alat-alat yang modern dan mulai meninggalkan alat-alat konvensional. Dalam menjalankan mesin las robot ada beberapa komponen pendukung yang digunakan agar fungsi kerjanya bisa berjalan dengan baik. Diantaranya adalah panel kelistrikan, angin bertekanan, kawat las, program computer, dan beberapa sistem kontrol lainnya. Adapun fungsinya adalah sebagai berikut:

- Panel kelistrikan berfungsi untuk mengatur suplai daya yang diperlukan dalam pengoperasian mesin-mesin pada las robot.
- Angin bertekanan digunakan untuk mengoperasikan mesin *jig* dan beberapa sistem pada mesin robot itu sendiri.
- *Program computer* berfungsi sebagai otak dari mesin las robot itu sendiri, disana koordinat pengelasan diatur oleh operator untuk menjalankan proses pengelasan.
- Sistem control digunakan untuk memulai, mengontrol, menghentikan sistem-sistem pada las robot yang dioperasikan oleh operator.



Gambar V. 1 Panel Kelistrikan Mesin Las Robot
(Sumber : okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Panel kelistrikan pada mesin las robot pada Gambar V.1 merupakan suatu sumber suplai daya yang dibutuhkan oleh mesin las robot itu sendiri. Panel kelistrikan ditempatkan pada suatu tempat khusus untuk mempermudah menggunakannya dan disana juga dilengkapi dengan sistem pendingin untuk mendinginkan panel-panel tersebut. Mesin las robot biasanya berjalan selama 24 jam untuk mencapai target hasil produksi.



Gambar V. 2 Operator Programmer
(Sumber : okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Mesin las robot biasanya dijalankan oleh seorang operator dapat dilihat pada Gambar V.2 yang membantu proses pengelasan, penempatan benda kerja, memonitor sistem *control* dan melakukan pengecekan (*quality control*) benda kerja proses las agar sesuai dengan standar. Kerja dari operator tidak terlalu susah oleh karena itu mesin las robot bisa menyelesaikan pengelasan yang banyak per hari nya.

V.2 Komponen Mesin Las Robot

V.2.1 Mesin Robot Las dan Spesifikasinya

Pada penggunaan mesin las robot yang digunakan untuk membantu pekerjaan *welder* pada produksi struktur *jacket* bangunan lepas pantai dibutuhkan robot yang mampu bergerak dalam berbagai arah dalam penelitian tugas ini menggunakan robot dengan kemampuan derajat kebebasan yang miliki oleh robot adalah 6 *axis* seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.3.

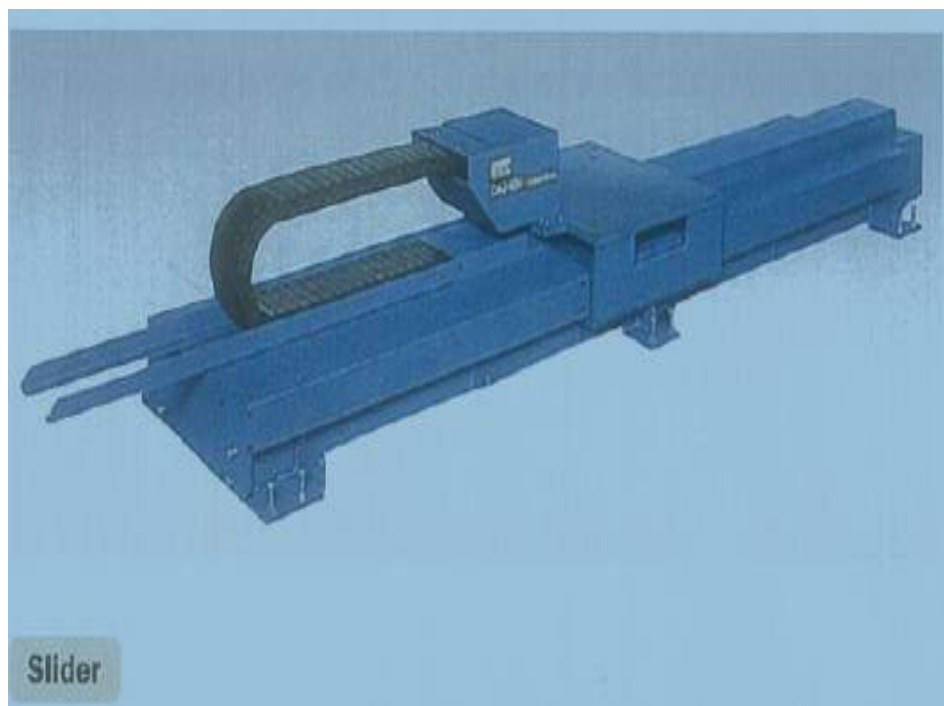


Gambar V. 3 Mesin Robot Las OTC Daihen 6 Axis
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Spesifikasi	
Material	Steel
Name	Robotick Welding FD- V6L
berat	277 kg
kecepatan	50 cm/min
Duty Cycle : 60%	60%
Efficiency :	80%
Output Current	320-501 Amp

V.2.2 *Railway Slider* Pada Mesin Las Robot

Dalam proses fabrikasi struktur *jacket* pada bengkel *assembly* dibutuhkan gedung yang luas sebagai tempat produksi bangunan lepas agar terhindar dari cuaca yang tidak diinginkan, dan dibutuhkan peralatan yang mampu memindahkan mesin las robot setelah selesai melakukan pengelasan pada satu objek kemudian pindah ke objek lain untuk melakukan pengelasan yang sama oleh karena itu dibutuhkan *railway slider* yang sangat panjang dan tersambung sebagai alat transportasi mesin robot las . Sehingga ketika mesin las robot selesai melakukan pengelasan maka mesin robot las tersebut dapat berpindah objek lain dengan bantuan *railway slider*. *Railway Slider* dapat dilihat pada Gambar V.4.



Gambar V. 4 Railway Slider
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Spesifikasi <i>Railway Slider</i>	
Name	A2SB202-E
Panjang	2 m
Kecepatan bergerak maksimal	0,3 m/s
Kapasitas pemasangan maksimal	330 kg
Pengulangan posisi	+0,1 mm

V.2.1 Fungsi *Jig* Pada Mesin Las Robot



Gambar V. 5 Mesin Las Robot dan *Jig*
(Sumber : okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Penjelasan fungsi *Jig* pada mesin las robot untuk tugas akhir . Gambar V.5 terlihat seorang operator robot pengelasan sedang mengoperasikan robot las dengan cara membuat program gerakan dan menyimpan data gerakan dengan menggunakan *teach pendant* dengan menyesuaikan *Jig* yang ada pada mesin las robot.



Gambar V. 6 Operator Programmer Robot
(Sumber: okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Mesin Las Robot (*Robotic Welding Machine*) adalah suatu mesin las yang menggunakan sistem pengendali komputer (*program*) yang telah diatur menggunakan program pengendali. Pada Gambar V.6 seorang operator *programer* robot sedang melakukan pemrograman pada mesin las robot. Mesin las robot memerlukan sumber daya listrik, angin bertekanan dan kawat las untuk pengoperasiannya. Panel listrik berfungsi untuk mengatur

semua daya yang dibutuhkan robot untuk menjalankan proses kerjanya. Dalam pengoperasian las robot juga membutuhkan beberapa alat bantu diantaranya adalah *Jig* atau *Fixture*. *Jig* atau *Fixture* merupakan peralatan khusus yang memiliki fungsi untuk memegang, menjepit, menyangga, benda kerja yang akan di las agar sesuai dengan standar hasil yang direncanakan dan juga untuk mempermudah proses dengan hasil yang akurat (presisi). Alat *Jig* banyak dipergunakan untuk membantu kerja dari permesinan diantaranya *milling*, las manual, *rivet las*, *spot welding* dll. Dalam pengoperasiannya *Jig* membutuhkan bantuan dari angin bertekanan untuk menjalankan sistem kerja dari *Jig*. Ada dua saluran angin yang dibutuhkan untuk bergerak maju dan mundur.



Gambar V. 7 *JIG* pada mesin las robot
(Sumber : okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Alat mesin *Jig* (Gambar V.7), mempunyai fungsi untuk menjepit benda kerja yang akan mengalami proses las. Satu set alat *jig* mempunyai kemampuan yang berbeda tergantung dari penyetelannya dan fungsi nya. Fungsi kerja nya hampir sama dengan hidrolik namun alat *jig* menggunakan tenaga bantu dari angin bertekanan. Alat *jig* sendiri memiliki fungsi yang sangat berarti bagi mesin las robot itu sendiri dikarenakan fungsi kerjanya saling keterkaitan. Didalam suatu proses pengelasan benda kerja diletakan di alat *jig* kemudian dijepit agar benda kerja hasil pengelasan memiliki ketepatan proses yang tinggi, kemudin di las dengan menggunakan *system* otomatis pada pengelasan robot.



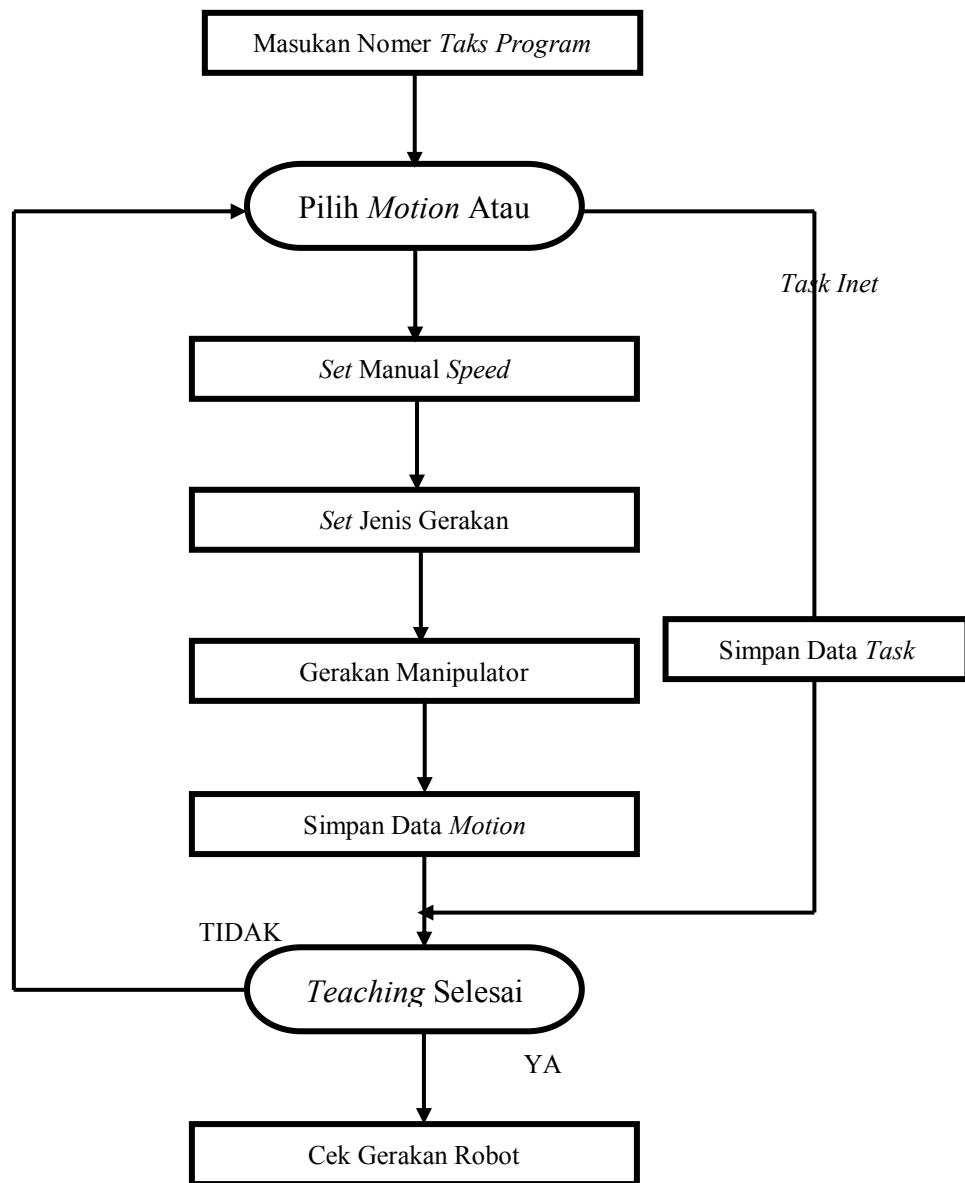
Gambar V. 8 *Jig dan fixture*
(Sumber : okaradiatorspring.blogspot.co.id)

Jig dan fixture (Gambar V.8) merupakan salah satu jenis alat bantu yang terdapat dalam proses manufaktur sehingga diperoleh produk yang seragam dengan keakuratan yang tinggi. Alat bantu mempunyai beberapa fungsi dalam proses produksi, antara lain :

1. Menurunkan biaya manufaktur
Dengan *jig dan fixture* waktu produksi bisa dikurangi, selain itu dengan adanya alat bantu maka penggunaan operator/tenaga kerja bisa dikurangi.
2. Menjaga kualitas
Produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang telah ditentukan karena dengan alat bantu *jig dan fixture* produk yang dihasilkan lebih presisi.
3. Meningkatkan produksi
Dengan *jig dan fixture* waktu pemasangan bisa dikurangi, menurunkan waktu produksi sehingga laju produksi meningkat.

V.3 Cara Memprogram Mesin Las Robot

Dalam mengoperasikan robot mesin robot agar mesin robot las dapat melakukan gerakan sesuai keinginan maka robot mesin robot tersebut perlu dibuat program dengan cara *teaching* atau mengerjakan manipulator kemudian gerakan tersebut disimpan sebagai data salah satu macam gerakan. Pemrograman dilakukan dengan bantuan alat *teach pendant*. *Flow chart* Pembuatan *task program* dapat dilihat pada Gambar V.9.



Gambar V. 9 *Flow chart* pembuatan *task program*

Penjelasan *Flow Chart* Pembuatan *Task Program*

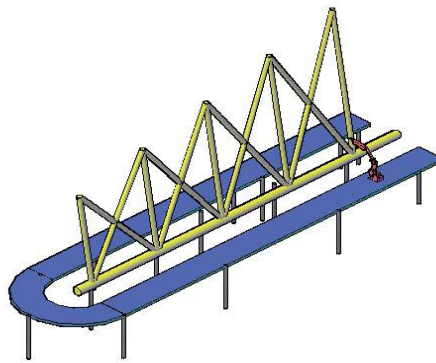
1. Masukan nomor *task*
2. Pilih *motion* / gerakan
3. *Set manual speed*
4. *Set jenis gerakan*
5. Gerakan manipulator
6. Simpan data motion
7. *Teaching* selesai
8. Cek gerakan robot

V.4 Konsep *Building Sequence* Penggunaan Mesin Las Robot Pada struktur *jacket*

Dalam proses produksi bangunan lepas pantai diperlukan langkah langkah atau *buidling sequence* proses instalasi dimana *building sequence* sebagai tolok ukur agar dapat mengerjakan bagian yang paling mudah dengan proses waktu produksi paling cepat dan tidak memakan waktu lama begitu pula menggunakan mesin las robot tentu *building sequence* akan berbeda dengan *building sequence* dengan menggunakan pengelasan konvensional. Selain itu dalam tugas akhir ini telah dibuat video konsep untuk menggambarkan simulasi penggunaan mesin las robot pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai.

Oleh karena itu agar robot dapat digunakan cara efisien, diperlukan langkah-langkah atau *building sequence* sebagai berikut:

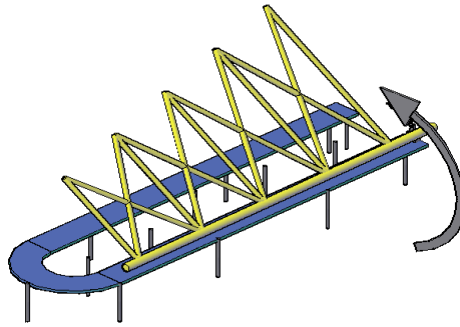
- Tahap 1 :



Gambar V. 10 Pengelasan *Brace Elevation ROW A* Menggunakan Mesin Robot Las

Pada Gambar V.10 merupakan langkah pertama yang dilakukan robot untuk melakukan pekerjaanya di mulai dari sisi bangunan *elevation ROW A* dengan menyambung *brace* dengan *Leg A1* mengikuti jalur *railway*. Waktu *fit-up* untuk instalasi *Leg A1* 2,5 jam dengan 2 *fitter* sedangkan untuk *diagonal brace* membutuhkan waktu *fit-up* 2-3 jam untuk masing-masing *brace* dengan 2 *fitter*

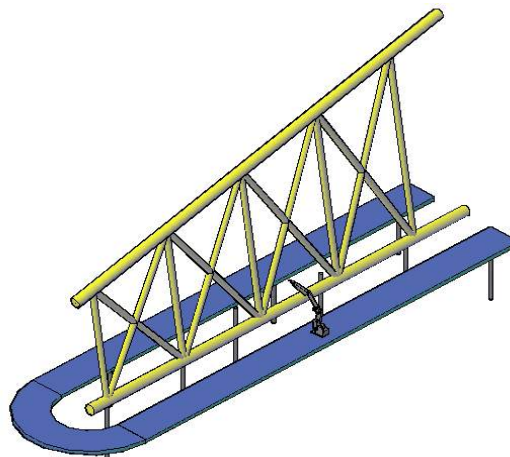
- Tahap 2 :



Gambar V. 11 *Elevation ROW A Dibalik Menggunakan Crane*

Setelah mesin robot las selesai melakukan penyambungan *Leg* pada *ROW A* kemudian blok di putar menggunakan *crane* yang membutuhkan waktu *fit-up* 2,5 jam dengan 2 *fitter*, 1 *rigger*, dan 1 operator *crane*, untuk dan diposisikan oleh *fitter* dan *crane* kemudian mesin las robot melakukan pada *Leg A2* dapat dilihat pada Gambar V.11.

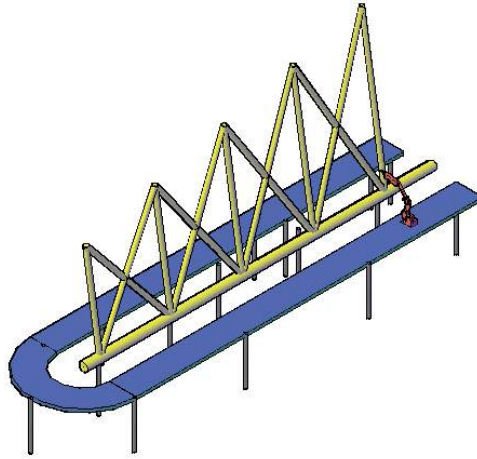
- Tahap 3 :



Gambar V. 12 Pengelasan *elevation ROW A leg A2*

Setelah blok *elevation ROW A* selesai dibalik dengan menggunakan *crane* kemudian mesin las robot melakukan pekerjaannya melakukan penyambungan pada *Leg A2* dengan *brace* hingga selesai seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.12. Waktu *fit-up* untuk instalasi *Leg A2* 2,5 jam dengan 2 *fitter* sama dengan waktu yang dibutuhkan *Leg A1* karena bentuknya tipikal sama.

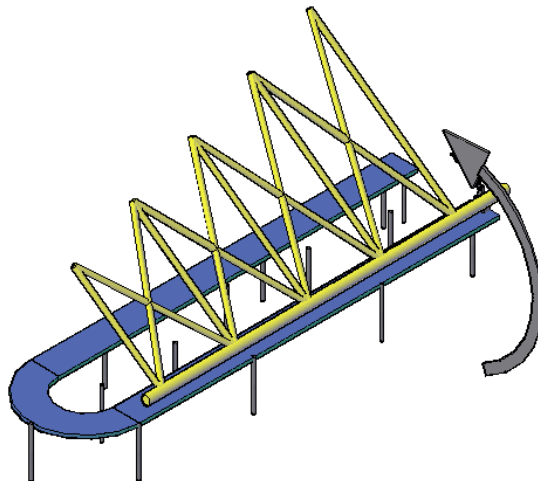
- Tahap 4 :



Gambar V. 13 Pengelasan *Brace Elevation ROW B* Menggunakan Mesin Robot Las

Setelah seluruh sambungan pada blok *elevation ROW A* selesai dilakukan selanjutnya mesin robot las melakukan penyambungan pada blok *elevation ROW B Leg B1* dengan *brace* dimana tipe struktur pada *elevation B* ini mirip dengan tipe struktur *elevation ROW A*. Lihat pada Gambar V.13. Waktu *fit-up* untuk instalasi *diagonal brace* pada *Leg B1* sama dengan *diagonal brace Leg A1* karena tipikal sama yaitu 2,5 jam dengan 2 *fitter* sedangkan untuk *diagonal brace* membutuhkan waktu *fit-up* 2-3 jam untuk masing-masing

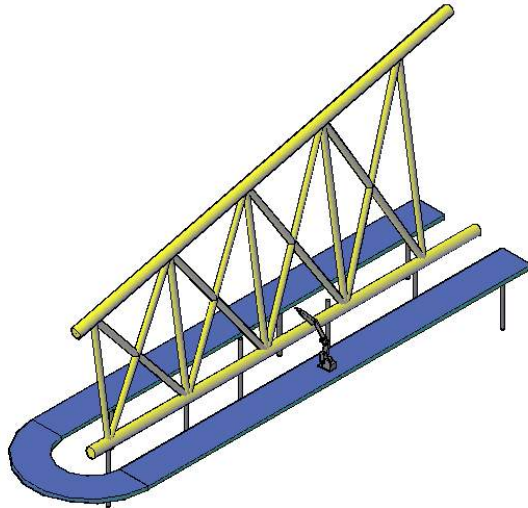
- Tahap 5 :



Gambar V. 14 Blok *elevation ROW B* Dibalik Dengan Menggunakan *Crane*

Seperti halnya *elevation ROW A* setelah seluruh *brace* pada *elevation ROW B* disambung kemudian blok *elevation B* dibalik menggunakan *crane* seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.14. yang membutuhkan waktu *fit-up* 2,5 jam dengan 2 *fitter*, 1 *rigger*, dan 1 operator *crane*.

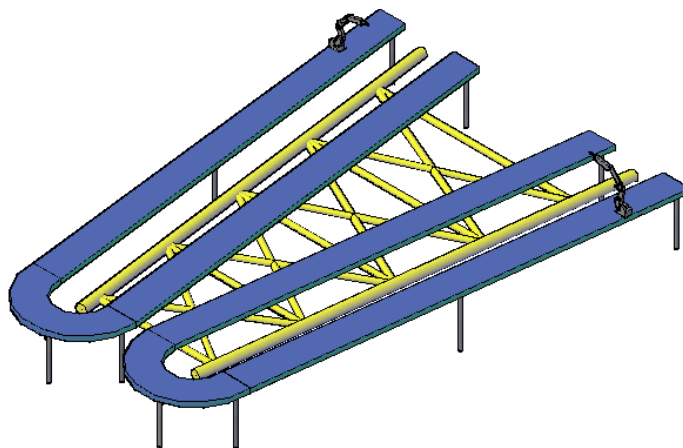
- Tahap 6 :



Gambar V. 15 Pengelasan *elevation ROW B leg B2*

Setelah blok *elevation ROW B* selesai dibalik dengan menggunakan *crane* kemudian sama seperti *elevation ROW A* sebelumnya mesin las robot melakukan pekerjaannya melakukan penyambungan pada *Leg B2* dengan *brace* hingga selesai seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.15. Waktu *fit-up* untuk instalasi *Leg B2* 2,5 jam dengan 2 *fitter* sama dengan waktu yang dibutuhkan *Leg A2* karena bentuknya tipikal sama.

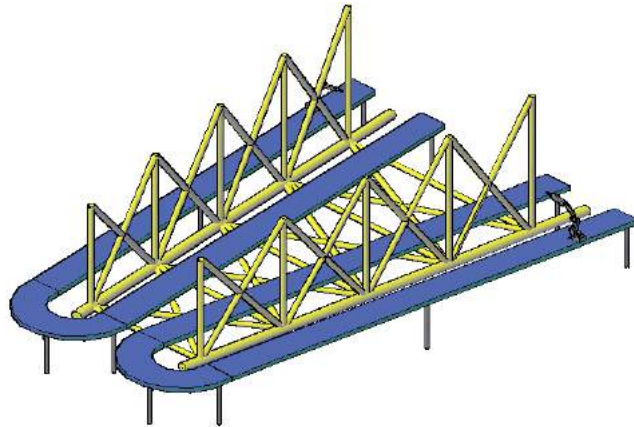
- Tahap 7 :



Gambar V. 16 Instalasi *ROW A* diletakan sejajar dengan *JIG*

Setelah seluruh *brace elevation ROW A* dan *elevation ROW B* tersambung pada masing-masing *Leg*. Langkah selanjutnya *ROW* ditidurkan sejajar dengan *Jig* dengan posisi lebih rendah daripada *railway slider* seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.16. Waktu *fit-up* untuk instalasi *fit-up diagonal brace elevation ROW 1 dan 2* membutuhkan waktu 5 jam dibantu dengan 4 *fitter*.

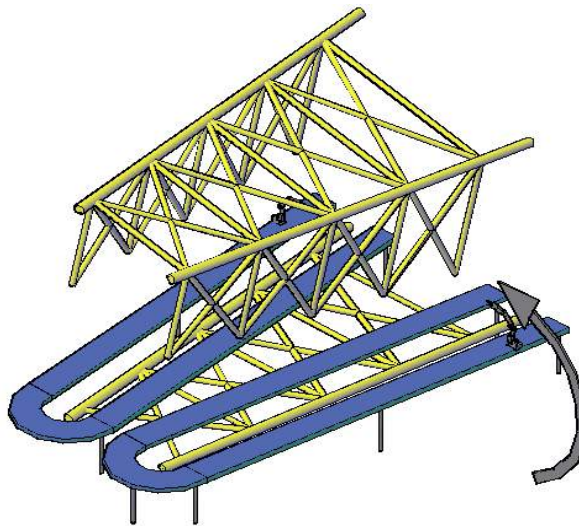
- Tahap 8 :



Gambar V. 17 Instalasi *brace elevation* 1 dan 2 pada *elevation ROW A*

Setelah blok *elevation ROW* selesai dipasang kemudian mesin robot las melakukan pekerjaannya untuk menyambung *diagonal brace* dan *horizontal brace* pada *ROW A* hingga selesai seperti ditunjukkan pada Gambar V.17. Waktu *fit-up diagonal brace* membutuhkan waktu *fit-up* 2-3 jam untuk masing-masing *brace* dengan 4 *fitter*

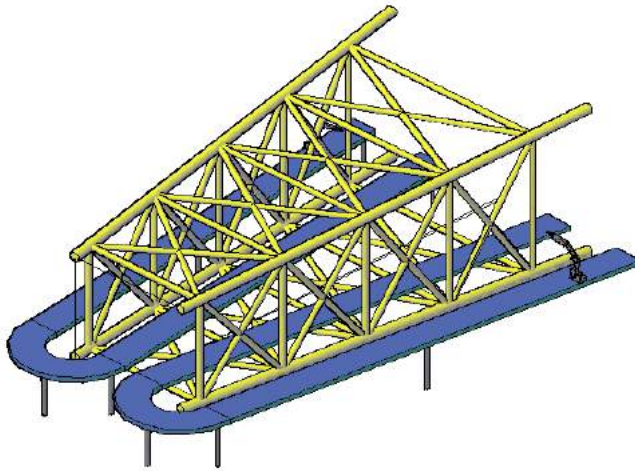
- Tahap 9 :



Gambar V. 18 Grand block dibalik menggunakan *crane*

Setelah *brace elevation ROW 1 & 2* tersambung dengan *ROW A* maka terbentuk blok besar atau *grand blok*, langkah selanjutnya kemudian *grand blok* tersebut di balik atau diputar dengan menggunakan *crane* diarahkan pada *elevation ROW B*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.18. Waktu yang dibutuhkan ketika *fit-up* penyambungan *grand blok ROW A* dan *B* disambung dengan *ROW 1* dan *2* membutuhkan waktu 7 jam dibantu dengan 10 *fitter* dan 2 *rigger*, 1 operator *crane*.

- Tahap 10 :



Gambar V. 19 Tahap terakhir penyambungan dengan mesin las robot

Pada Gambar V.19 merupakan langkah terakhir dari *sequence* atau langkah-langkah yang telah dibuat dalam proses fabrikasi struktur *jacket* bangunan lepas pantai setelah semua blok *elevation ROW A* dan *brace ROW 1* dan *2* tersambung kemudian mesin las robot menyambung seluruh *diagonal brace* dan *horizontal brace* pada *Leg B1* dan *B2* hingga selesai. Untuk lebih jelasnya dapat lihat pada video konsep yang telah dibuat untuk menggambarkan simulasi penggunaan mesin las robot pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai.

V.5 Penentuan Jumlah Fasilitas Produksi Mesin Las Robot

Dalam proses pengelasan menggunakan mesin las robot struktur *jacket* bangunan lepas pantai diperlukan penentuan jumlah peralatan produksi berdasarkan jenis pekerjaan yang dilakukan selama proses pembangunan berlangsung. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan di tentukan jumlah mesin las konvensional. Pada bab ini akan ditentukan jumlah mesin las robot berdasarkan *building sequence* pembangunan struktur *jacket* memiliki yang dan jenis pekerjaan yang hampir sama, sehingga sangat efektif sekali jika proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las robot karena robot akan bekerja maksimal jika produk yang dalam jumlah banyak dan banyak bentuk tipikal yang sama.

Berdasarkan beban kerja yang telah diketahui dan durasi pengerjaan pada bab sebelumnya , kebutuhan mesin dalam tiap bengkel dapat dihitung dengan membagi beban kerja terhadap produktifitas dari mesin yang digunakan. Untuk menentukan jumlah jumlah kebutuhan mesin, dapat digunakan formula sebagai berikut (Wignjosuebrototo, 1991): :

$$N = \frac{T \times P}{60 \times D \times E}$$

di mana :

- P : *Output*/beban kerja dalam 1 hari (ton/hari)
- T : Durasi waktu pengerjaan yang dibutuhkan
- D : Jam kerja mesin dalam 1 hari
- E : Faktor efisiensi kerja mesin
- N : Jumlah mesin yang dibutuhkan

- ***Assembly Area***

Mesin las ini digunakan untuk menyambungkan pelat dan profil serta pipa dalam bentuk blok besar di sambung menjadi satu bangunan jadi pada bengkel *erection*. Adapun spesifikasi dari mesin las tersebut adalah:

Tabel V. 1 Jumlah Mesin Las Robot Pada Bengkel *Assembly*

ASSEMBLY AREA			
Robotic Welding Machine			
Berat Baja	:	440	ton
Durasi pengerjaan	:	5	bulan
	:	119	hari
Beban kerja	:	3,70	ton/hari
waktu mesin bekerja	:	6	jam/hari
	:	360	menit/hari
Produktifitas	:	0,90	ton/jam
Kebutuhan Mesin	:	0,68	mesin
	:	1	mesin

Pada Tabel V.1 merupakan perhitungan jumlah penentuan mesin las robot pada bengkel *assembly*, formula perhitungannya sama berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya dengan membagi beban kerja terhadap produktivitas dari mesin las maka bengkel fabrikasi pipa dibutuhkan 1 mesin las.

- ***Erection Area***

Mesin las ini digunakan untuk menyambungkan pelat dan profil serta pipa dalam bentuk blok besar di sambung menjadi satu bangunan jadi pada bengkel *erection*. Adapun spesifikasi dari mesin las tersebut adalah:

Tabel V. 2 Jumlah mesin Las Robot Pada Bengkel *Erection*

ERECTION AREA		
Welding Machine		
Berat Baja	:	700 ton
Durasi pengerjaan	:	5 bulan
	:	60 hari
Beban kerja	:	11,67 ton/hari
waktu mesin bekerja	:	6 jam/hari
	:	360 menit/hari
Produktifitas	:	0,90 ton/jam
Kebutuhan Mesin	:	2,16 mesin
	:	2 mesin

Sedangkan untuk penentuan jumlah mesin las robot pada bengkel *erection* perhitungan dapat dilihat Tabel V.2 dengan membagi beban kerja terhadap produktivitas dari mesin las maka jumlah mesin las yang dibutuhkan adalah 2 mesin las.

BAB VI

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

VI.1 Pengembangan Mesin Las Robot Pada Pengelasan Struktur *jacket*

Dalam seminar tersebut dijelaskan tentang perkembangan teknologi pengelasan yang semakin maju di dunia, dan bahkan penggunaan *robotic welding* ini di Indonesia sudah banyak, terutama di sekitar Jakarta oleh perusahaan-perusahaan otomotif nasional seperti Yamaha, Honda, dan Suzuki. Selain itu juga dijelaskan tentang keuntungan-keuntungan yang didapat bila menggunakan *robotic welding* atau pengelasan dengan menggunakan robot, dan juga cara pengoperasiannya secara sederhana. Akan tetapi, pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa secara teknis dan ekonomis jika pengelasan menggunakan robot pada industri bangunan lepas pantai, apakah akan memperoleh keuntungan-keuntungan sama yang diperoleh perusahaan-perusahaan di bidang lain

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa teknis dan ekonomis proses pengelasan menggunakan Robot. Secara teknis, proses pengelasan menggunakan robot pengelasan dapat menggantikan peran *welder* manusia dan dalam proses pekerjaan pengelasan dimana pada saat ini *welder* yang bersertifikat 6G di Indonesia masih sulit dicari. Hal ini tentunya berpengaruh pada durasi pekerjaan dan aspek ekonomis biaya pengelasan karena akan mengurangi biaya tenaga kerja langsung yang menggunakan jasa *welder* pada proses pengelasan, namun perlu diperhatikan juga biaya investasi pembelian robot las dan biaya pemeliharaan robot las.

VI.2 Analisa Teknis

Dalam melakukan analisa teknis, yang dibahas adalah pada proses dan bagian mana dari penggunaan pengelasan robot yang dapat diterapkan pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai. Hal tersebut akan bisa dilihat pada hasil analisa teknis pengelasan robot pada berikut. Analisa teknis dapat dilakukan dengan menganalisa, perbandingan waktu pengelasan dan menganalisa kualitas hasil las robot.

Urutan Normal Pengelasan Konvensional :

1. Root
2. Hot Pass (penyempurnaan root)
3. *Filler* 1 (Penebalan Las)
4. *Filler* 2
5. *Filler* 3
6. *Filler* dst
7. Caping (Layer Terakhir)

1. Ukuran Pipa 49"øx2.000"W.T :

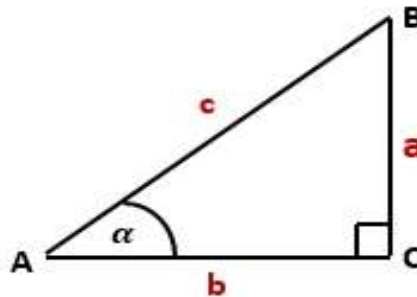
diameter pipa	=	49	inch
Tebal pipa	=	2	inch

2. Ukuran Pipa 20"øx1.000"W.T :

diameter pipa	=	20	inch
Tebal pipa	=	1	inch

waktu normal untuk pengelasan pipa 20"øx1.000"W.T :

- Pengelasan Root	=	45	menit
- hot pass	=	20	menit
- <i>filler</i>	=	20	Menit
- Waktu Root 1 <i>Elektroda</i>	=	8	min/cm
- deposit las 1 <i>elektroda</i>	=	8	com



lebar <i>weld metal</i>	=	$D * 1,5\text{mm} = 1,5 * 1,5$	2,25
L. Kampuh Las	=	$0,5 * (a)(b) \sin \alpha$	
L. <i>weld metal</i>	=	$(\text{Lebar weld metal} * \text{Tinggi Weld Metal}) / 2$	
	=	$(2,25 * 4) / 2 =$	4,5
Jumlah Layer	=	$L. \text{Kampuh Las} / \text{Luas weld metal}$	

VI.2.1 Perbandingan Waktu Pengelasan

1. Waktu pengelasan Konvensional

Pada proses pengelasan hal penting yang perlu diperhatikan waktu atau durasi pengelasan yang di lakukan oleh *welder* dibandingkan pengelasan menggunakan robot las. Waktu proses pengelasan akan sangat berpengaruh pada biaya produksi karena bertambahnya

biaya penggunaan listrik dan pembelian material tambahan. Pada proses pengelasan dengan *welder* manual telah dilakukan analisa waktu telah dilakukan berdasarkan tabel dibawah ini, di antaranya :

Tabel VI. 1 Durasi Pengelasan Pada Bangunan *Elevation ROW A*

Elevasi ROW A						
NO	ITEM	Description	Length las 2an (mm)	Sudut	Jumlah Layer	Total Time (min)
1	PI49-2A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
2	PI49-3A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
3	PI49-4A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
4	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
5	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
5	PI47½-1A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
6	PI47-1A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
7	PI47-3A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
8	PI47-3B	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
9	PI47-4A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
10	PI47-2B	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
11	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	1553,4	52	8	185
12	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1553,4	52	8	185
13	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1726,5	47	8	185
14	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1726,5	47	8	185
15	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	107	8	185
16	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1611	55	8	185
17	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1611	55	8	185
18	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	1849,7	41	8	185
19	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	1849,7	41	8	185
20	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	96	8	185
21	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1561,8	60	8	185
22	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1561,8	60	8	185
23	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1744,3	46	8	185
24	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1744,3	46	8	185
25	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	105	8	185
26	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1517,5	66	8	185
27	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1517,5	66	8	185
28	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1650,7	52	8	185
29	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1650,7	52	8	185
30	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	117	8	185
Total Waktu						12225

Berdasarkan Tabel VI.1 telah dilakukan analisa waktu menurut standar waktu yang di kerjakan *welder* PT. PAL Indonesia untuk proses pengelasan pada bangunan *Elevation ROW A* membutuhkan waktu 12.225 menit.

Tabel VI. 2 Durasi Pengelasan Pada Bangunan *Elevation ROW B*

Elevation ROW B						
NO	ITEM	Description	Length las2an (mm)	Sudut (Degree)	Jumlah Layer	total time (min)
1	PI49-1A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
2	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
3	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1244,6	60	16	775
4	PI47½-2A	49"øx1.000"W.T	1244,6	60	16	415
5	PI47-5A	49"øx1.000"W.T	1244,6	60	16	415
6	PI47-5B	49"øx1.000"W.T	1244,6	60	16	415
7	PI16-5A	20"øx1.000"W.T	1553,4	52	8	185
8	PI16-6A	20"øx1.000"W.T	1553,4	52	8	185
9	PI16-7A	20"øx1.000"W.T	1726,5	47	8	185
10	PI16-8A	20"øx1.000"W.T	1726,5	47	8	185
11	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	107	8	185
12	PI16-5C	20"øx1.000"W.T	1611	55	8	185
13	PI16-6C	20"øx1.000"W.T	1611	55	8	185
14	PI16-7C	20"øx1.000"W.T	1849,7	41	8	185
15	PI16-8C	20"øx1.000"W.T	1849,7	41	8	185
16	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	96	8	185
17	PI18-5A	20"øx1.000"W.T	1561,8	60	8	185
18	PI18-6A	20"øx1.000"W.T	1561,8	60	8	185
19	PI18-7A	20"øx1.000"W.T	1744,3	46	8	185
20	PI18-8A	20"øx1.000"W.T	1744,3	46	8	185
21	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	105	8	185
22	PI24-5A	20"øx1.000"W.T	1517,5	66	8	185
23	PI24-6A	20"øx1.000"W.T	1517,5	66	8	185
24	PI24-7A	20"øx1.000"W.T	1650,7	52	8	185
25	PI24-8A	20"øx1.000"W.T	1650,7	52	8	185
26	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	117	8	185
Total Waktu						7270

Sedangkan pada tipikal struktur *elevation ROW B* karena bentuk konstruksi sama dengan *elevation ROW A* maka proses pengelasannya pun tidak jauh beda. Seperti yang ditunjukkan Tabel VI.2 menunjukan waktu yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *elevation ROW B* adalah 7270 menit. Pada perhitungan waktu pengelasan *elevation* terdapat selisih perbedaan waktu sebagai dari material *elevation ROW B* dikerjakan dan tersambung pada *elevation ROW A*.

Tabel VI. 3 Durasi Pengelasan Pada Bangunan *Elevation ROW 1 & 2*

Elevation ROW 1 & 2						
NO	ITEM	Description	Jumlah Layer	Panjang Las 2a (mm)	sudut (degree)	total time (min)
1	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	8	1689,3	49	185
2	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	8	1742,5	46	185
3	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	8	1901,2	39	185
4	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	8	1823,8	42	185
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	8	1567,4	88	185
6	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	8	1820,4	42	185
7	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	8	1898,3	39	185
8	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	8	2142,4	32	185
9	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	8	2021,5	35	185
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	8	1598,3	75	185
11	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	8	1739,6	46	185
12	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	8	1801,7	43	185
13	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	8	1991,3	46	185
14	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	8	1898,3	39	185
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	8	1573,7	83	185
16	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	8	1674,9	50	185
17	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	8	1724,9	47	185
18	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	8	1874,9	40	185
19	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	8	1801,7	43	185
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	8	1570,6	90	185
Total Waktu						3700

Sedangkan untuk waktu yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *elevation ROW B1 & 2* adalah 3700 menit, seperti yang ditunjukkan pada Tabel VI.3.

Tabel VI. 4 Durasi Pengelasan Pada *Horizontal brace ROW A & B*

Horizontal brace ROW A & B					
No	Description	length(mm)	sudut	Jumlah Layer	total time (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
11	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
12	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
13	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
14	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
15	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
16	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
17	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
18	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
19	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
20	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
Total Waktu					3700

Sedangkan pada Tabel VI.4 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *elevation ROW A & B* adalah 3700 menit.

Tabel VI. 5 Durasi Pengelasan Pada *Horizontal Brace* Lurus 90 Leg B1 & B2

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2					
No	Description	length(mm)	sudut	Jumlah Layer	total time (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	83	8	185
Total Waktu					1850

Sedangkan pada Tabel VI.5 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *elevation ROW A & B* adalah 1850 menit.

Tabel VI. 6 Durasi Pengelasan Pada *Horizontal Brace Joint Leg* A1 & A2

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2					
No	Description	length(mm)	sudut	Jumlah Layer	total time (min)
1	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
2	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
3	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
4	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
5	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
6	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
7	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
8	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
9	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
10	20"øx1.000"W.T	1449,6	83	8	185
Total Waktu					1850

Sedangkan pada Tabel VI.6 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *Horizontal Brace Leg* A1 & A2 adalah 1850 menit.

Jadi waktu yang dibutuhkan jadi untuk melakukan proses pengelasan konvensional seluruh sambungan *brace* pada struktur *jacket* :

1.	Waktu las konvensional ROW A	= 12.225	menit
2.	Waktu las konvensional ROW B	= 7.270	menit
3.	Waktu las konvensional elevasi ROW 1 & 2	= 3.700	menit
4.	Waktu las konvensional elevasi ROW A & B <i>horizontal</i>	= 3.700	menit
4.	Waktu las konvensional elevasi ROW A1&A2 <i>horizontal</i>	= 1.850	menit
5.	<u>Waktu las konvensional elevasi ROW B1&B2 <i>horizontal</i></u>	<u>= 1.850</u>	<u>menit +</u>
	Jumlah	= 30.595	menit

Jadi total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pengelasan seluruh sambungan *brace* 31.595 menit atau setara dengan 85 hari kerja jika jam kerja efektif dalam satu hari kerja adalah 6 jam.

2. Waktu pengelasan menggunakan mesin las robot

Pengelasan robot adalah penggunaan alat pemrogram mekanis (Robot), yang benar-benar mengotomatisasi proses pengelasan dengan melakukan pengelasan pada benda kerja yang telah disiapkan , Sementara mesin pengelasan otomatis, belum tentu setara dengan pengelasan robot dari segi kecepatan, kualitas dan waktu. Robot Pengelasan umumnya digunakan untuk pengelasan titik resisten dan pengelasan busur di Aplikasi produksi tinggi, seperti industri otomotif dan industri bangunan laut.

Sistem pengelasan robot dapat dengan cepat mengambil alih pekerjaan manusia. Salah satu manfaatnya adalah bahwa perubahan ini memberikan pada manusia untuk melakukan pekerjaan lainnya seperti *cutter*, *fitter*, dan *helper*, di samping itu untu satu mesin robot membutuhkan satu orang sebagai operator untuk mengontrol proses kerja robot pengelasan

Dalam proses pengelasan menggunakan robot dalam menguji kecepatan dan waktu pengelasan yang perlu diperhatikan cara memasukan perintah pada suatu program dan mengarahkan lenegan robot dari satu titik ke titik lain kemudian gerakan tersebut direkam dan simpan dalam program yang disebut *teach pendant* sehingga robot dapat melakukan gerakan sesuai dengan bentuk benda kerja yang telah dilakukan proses pemrograman sebelumnya. Pada proses pengelasan dengan robot telah di lakukan analisa waktu telah dilakukan berdasarkan Tabel dibawah ini, di antaranya :

Tabel VI. 7 Durasi Pengelasan Robot Pada Bangunan *Elevation ROW A*

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW A							
NO	ITEM	Description	Length las2an (mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI49-2A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
2	PI49-3A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
3	PI49-4A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
4	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
5	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
5	PI47½-1A	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
6	PI47-1A	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
7	PI47-3A	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
8	PI47-3B	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
9	PI47-4A	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
10	PI47-2B	49"øx1.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
11	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1553,4	7	500	3,1068	21,75
12	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1553,4	7	500	3,1068	21,75
13	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1726,5	7	500	3,453	24,17
14	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1726,5	7	500	3,453	24,17
15	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	7	500	3,2088	22,46
16	PI20-1C	20"øx1.000"W.T	1611	7	500	3,222	22,55
17	PI20-2C	20"øx1.000"W.T	1611	7	500	3,222	22,55
18	PI20-3C	20"øx1.000"W.T	1849,7	7	500	3,6994	25,90
19	PI20-4C	20"øx1.000"W.T	1849,7	7	500	3,6994	25,90
20	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	7	500	3,1412	21,99
21	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1561,8	7	500	3,1236	21,87
22	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1561,8	7	500	3,1236	21,87
23	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1744,3	7	500	3,4886	24,42
24	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1744,3	7	500	3,4886	24,42
25	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	7	500	3,1894	22,33
26	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1517,5	7	500	3,035	21,25
27	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1517,5	7	500	3,035	21,25
28	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1650,7	7	500	3,3014	23,11
29	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1650,7	7	500	3,3014	23,11
30	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	7	500	3,3336	23,34
			Total Waktu			=	8985,13

Pada Tabel VI.7 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *Elevation ROW A* adalah 8985,13 menit. Seperti yang ditunjukkan perhitungan waktu pengelasan konvensional sebelumnya pada perhitungan pengelasan robot terdapat selisih cukup jauh dengan waktu pengelasan lebih cepat jika dibandingkan pengelasan konvensional.

Tabel VI. 8 Durasi Pengelasan Robot Pada Bangunan *Elevation ROW B*

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW B							
NO	ITEM	Description	Length las2an (mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI49-1A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
2	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
3	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1244,6	16	35	45	775
4	PI47½-2A	49"øx1.000"W.T	1244,6	8	35	45	415
5	PI47-5A	49"øx1.000"W.T	1244,6	8	35	45	415
6	PI47-5B	49"øx1.000"W.T	1244,6	8	35	45	415
7	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	1553,4	7	500	3,1068	21,75
8	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	1553,4	7	500	3,1068	21,75
9	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	1726,5	7	500	3,453	24,17
10	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	1726,5	7	500	3,453	24,17
11	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	7	500	3,2088	22,46
12	PI20-5C	20"øx1.000"W.T	1611	7	500	3,222	22,55
13	PI20-6C	20"øx1.000"W.T	1611	7	500	3,222	22,55
14	PI20-7C	20"øx1.000"W.T	1849,7	7	500	3,6994	25,90
15	PI20-8C	20"øx1.000"W.T	1849,7	7	500	3,6994	25,90
16	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	7	500	3,1412	21,99
17	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	1561,8	7	500	3,1236	21,87
18	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	1561,8	7	500	3,1236	21,87
19	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	1744,3	7	500	3,4886	24,42
20	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	1744,3	7	500	3,4886	24,42
21	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	7	500	3,1894	22,33
22	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	1517,5	7	500	3,035	21,25
23	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	1517,5	7	500	3,035	21,25
24	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	1650,7	7	500	3,3014	23,11
25	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	1650,7	7	500	3,3014	23,11
26	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	7	500	3,3336	23,34
			Total Waktu			=	4030,13

Pada Tabel VI.8 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *Elevation ROW B* adalah 4030,13 menit. Pada tipikal struktur *elevation ROW B* karena bentuk konstruksi sama dengan *elevation ROW A* maka proses pengelasannya pun tidak jauh beda. Seperti yang ditunjukkan Tabel VI.8 menunjukan waktunya yang dibutuhkan *welder* untuk bangunan *elevation ROW B* adalah 4030,13 menit. Pada perhitungan waktu pengelasan *elevation ROW B* ada selisih perbedaan waktu karena sebagai dari material *elevation ROW B* dikerjakan dan tersambung pada *elevation ROW A*

Tabel VI. 9 Durasi Pengelasan Robot *horizontal brace ROW 1 & 2*

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW 1 & 2							
NO 1	ITEM	Description	Panjang Las 2a (mm)	Jumlah Layer	Kec Las	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1689,3	7	500	3,3786	23,65
2	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1742,5	7	500	3,485	24,40
3	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1901,2	7	500	3,8024	26,62
4	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1823,8	7	500	3,6476	25,53
5	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1567,4	7	500	3,1348	21,94
6	PI20-1C	20"øx1.000"W.T	1820,4	7	500	3,6408	25,49
7	PI20-2C	20"øx1.000"W.T	1898,3	7	500	3,7966	26,58
8	PI20-3C	20"øx1.000"W.T	2142,4	7	500	4,2848	29,99
9	PI20-4C	20"øx1.000"W.T	2021,5	7	500	4,043	28,30
10	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	1598,3	7	500	3,1966	22,38
11	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1739,6	7	500	3,4792	24,35
12	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1801,7	7	500	3,6034	25,22
13	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1991,3	7	500	3,9826	27,88
14	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1898,3	7	500	3,7966	26,58
15	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1573,7	7	500	3,1474	22,03
16	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	1674,9	7	500	3,3498	23,45
17	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	1724,9	7	500	3,4498	24,15
18	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	1874,9	7	500	3,7498	26,25
19	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	1801,7	7	500	3,6034	25,22
20	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	1570,6	7	500	3,1412	21,99
			Total Waktu			=	501,99

Pada Tabel VI.9 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *horizontal brace ROW A & B* adalah 501,99 menit.

Tabel VI. 10 Durasi Pengelasan Robot *horizontal brace ROW A & B*

Horizontal brace ROW A & B						
No	Description	length Las -las a (mm)	Jumlah Layer Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38

Tabel VI. 11 Durasi Pengelasan Robot *horizontal brace* ROW A & B (Lanjutan)

11	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
12	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
13	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
14	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
15	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
16	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
17	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
18	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
19	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
20	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
			Total Waktu		=	407,51

Pada Tabel VI.10 dan V.11 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *Horizontal brace ROW A & B* adalah 407,51 menit.

Tabel VI. 12 Durasi Pengelasan Robot *Horizontal Brace LEG A1 & A2*

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2						
No	Description	length(mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
			Total Waktu		=	203,76

Pada Tabel VI.12 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *horizontal brace Leg A1 & A2* adalah 203,76 menit.

Tabel VI. 13 Durasi Pengelasan Robot *Horizontal brace* Tegak Lurus *Leg B1 & B2*

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2						
No	Description	length(mm)	Jumlah Layer	Kec Las	t Pengelasan 1 ro	Total Waktu
			Layer	(mm/min)	(min)	(min)
1	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
2	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
3	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
4	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
5	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
6	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
7	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
8	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
9	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
10	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
			Total Waktu		=	202,94

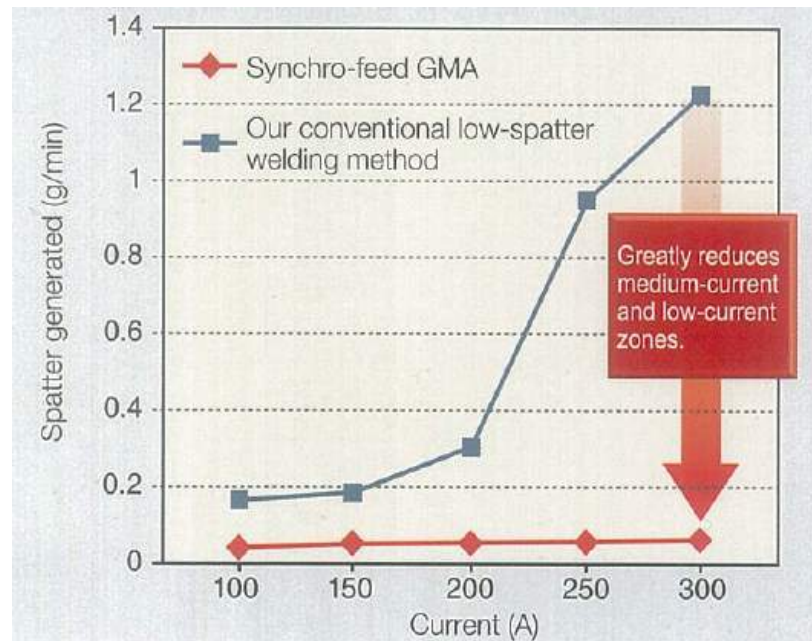
Pada Tabel VI.13 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan robot untuk melakukan proses pengelasan pada robot pada bangunan *Horizontal brace Leg A1 & A2* adalah 202,94 menit.

Jadi berdasarkan perhitungan tabel diatas, waktu yang dibutuhkan jadi untuk melakukan proses pengelasan robot seluruh sambungan *brace* pada struktur *jacket* :

1. Waktu las robot pada *ROW A* = 8985,13 menit
2. Waktu las robot pada *ROW B* = 4030,13 menit
3. Waktu las robot pada elevasi *ROW 1 & 2* = 501,99 menit
4. Waktu las robot pada elevasi *ROW A & B horizontal* = 407,51 menit
4. Waktu las robot pada elevasi *ROW A1&A2 horizontal* = 203,94 menit
5. Waktu las robot pada elevasi *ROW B1&B2 horizontal* = 202,94 menit +
- Jumlah = 14.331,46 menit

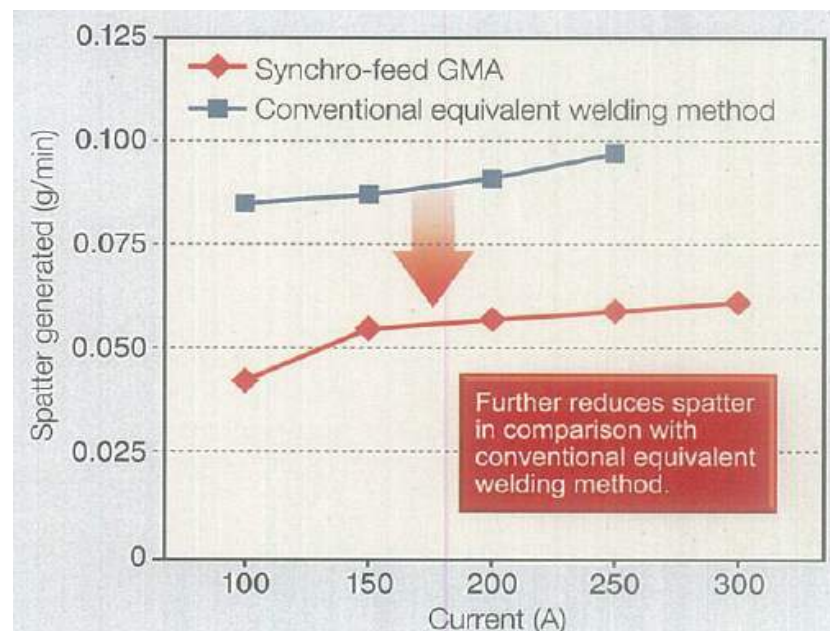
Jadi total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pengelasan seluruh sambungan *brace* 14.331,46 menit atau setara dengan 39 hari kerja jika jam kerja efektif dalam satu hari kerja adalah 6 jam

VI.2.2 Kualitas Pengelasan



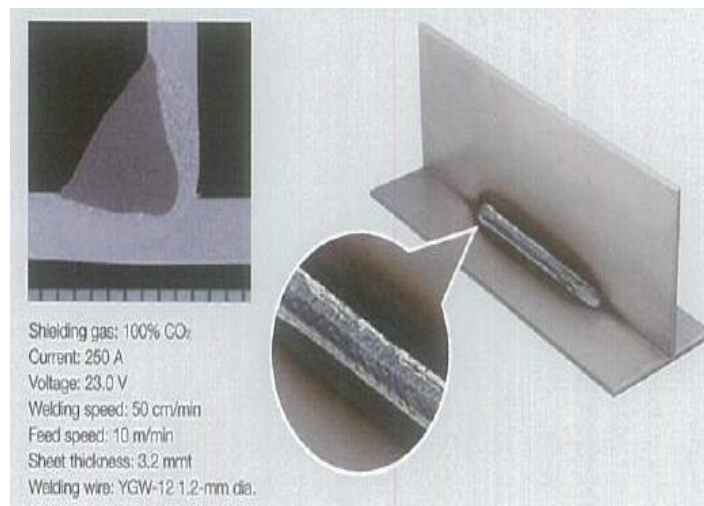
Gambar VI. 1 Grafik perbandingan kualitas spatter dan arus
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Perbandingan hasil pengelasan robot dengan pengelasan konvensional dari kuantitas *spatter* dan arus yang di keluarkan oleh mesin robot lebih rendah daripada menggunakan mesin las konvensional seperti yang di tujukan pada grafik VI.1.



Gambar VI. 2 Perbandingan Percikan Mesin Las Robot Dengan Konvensional
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Pada Gambar VI.2 menunjukkan grafik pengelasan menggunakan mesin las robot dapat mengurangi percikan yang di keluarkan pada *torch nozzle* mesin las robot



Gambar VI. 3 Hasil Pengelasan Mesin Robot Las
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Hasil pengelasan *spatter* rendah yang memastikan penetrasi dalam Kombinasi kontrol PDT (*Pulsed Dip Transfer Process*) /kontrol arus tinggi, dan kontrol BP (*Buffer Position*) /kontrol kawat kecepatan tinggi untuk menanggulangi keterbatasan gas CO₂ dan mencapai penetrasi yang cukup dalam dan bentuk hasil las yang rata dapat dilihat pada Gambar VI.3.



Gambar VI. 4 Hasil Las Robot Tanpa Percikan
(Sumber : CV Anugrah Tekniktama)

Pengelasan robot dapat dikontrol gelombang arus dan dapat menggunakan kawat las khusus berkontribusi pada *weld metal* sehingga menghasilkan las yang indah dan sangat mengurangi percikan saat dimulai mengelas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar VI.4.

VI.3 Analisa Ekonomis

Analisis ekonomis untuk membandingkan biaya pengelasan konvensional dengan pengelasan menggunakan robot. Pada bab ini akan dibahas mengenai biaya-biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi pengelasan struktur *jacket* bangunan lepas pantai, selanjutnya pada bagian ini akan melakukan perhitungan perbandingan biaya - biaya yang dikeluarkan pada proses produksi pengelasan jika menggunakan menggunakan robot las, lalu akan dianalisa seberapa banyak jumlah biaya yang bisa dikurangi.

VI.3.1 Perbandingan Investasi Peralatan dan Permesinan

Tabel VI. 14 Investasi Mesin Robot Las

INVESTASI PERALATAN MESIN DAN KOMPONEN PENUNJANG ROBOT LAS				
No	Deskripsi	Ukuran	Harga (Rupiah)	Total (Juta Rupiah)
		qty		
1	Robot Welding	3	450.000.000	1.350.000.000
2	Servo Motor Controller	3	30.000.000	90.000.000
3	Power Supply	3	14.000.000	42.000.000
4	Remote Controller	3	7.000.000	21.000.000
5	Control Cable	3	2.800.000	8.400.000
6	Skid rails Robot Welding	35	154.000.000	5.390.000.000
7	Torch Welding Robot	3	700.000	2.100.000
8	Nozzle Mesin Las Robot	3	32.000	96.000
TOTAL				6.903.596.000

Dalam perhitungan biaya investasi peralatan mesin las robot beserta komponen bagian-bagiannya. Dapat diketahui terdapat beberapa peralatan peralatan dan komponen robot terdiri dari yang terdiri dari Unit robot *Welding*, *Servo Motor Controller*, *Power Source*, *Skid Rail Welding Robot* yang diperlukan dalam proses pembangunan *jacket structure*. Berdasarkan perhitungan Tabel VI.14 diperlukan biaya investasi sebesar Rp. 6.903.596.000,- untuk investasi 3 unit robot 3 *servo motor*, 3 *power source* dan 35 *skid rail welding* robot untuk harga tiap unit dapat dilihat pada Tabel VI.14.

Tabel VI. 15 Investasi Mesin Las Konvensional

INVESTASI PERALATAN MESIN LAS KONVESIONAL					
No	Deskripsi	Ukuran		Harga	Total (Juta Rupiah)
			Per		
1	Trafo Las	29	Unit	50.000.000	1.450.000.000
2	Stang Las	29	Set	700.000	20.300.000
3	Hendle on/off	29	Set	650.000	18.850.000
4	Pengatur Arus Pengelasan	29	Unit	112.000.000	3.248.000.000
5	Tang Masa dan Kabel Elektrode	29	Set	320.000	9.280.000
6	Torch Welding	29	Set	630.000	18.270.000
7	Nozzle	29	Set	22.000	638.000
TOTAL					4.765.338.000

Sedangkan perhitungan biaya investasi peralatan mesin las konvensional beserta komponen bagian-bagiannya. Dapat diketahui terdapat beberapa peralatan dan komponen robot terdiri dari yang terdiri dari Trafo Las, Stang Las, *Hendle on/oof*, *Torch*, Mesin Pengubah Arus, yang diperlukan dalam proses pembangunan *jacket structure*. Berdasarkan perhitungan Tabel VI.15 diperlukan biaya investasi sebesar Rp. 4.765.338.000,- seperti yang ditunjukkan dilihat pada Tabel VI.15.

VI.3.2 Perbandingan Penggunaan Biaya Listrik

Perbandingan biaya operasional yang akan dikeluarkan selama pemakaian mesin las tersebut tentunya akan berbeda antara mesin las robot dengan mesin las konvensional, daya yang dikeluarkan karena penggunaan mesin robot dengan mesin las konvensional tentu sangat berbeda. Salah satunya adalah daya sesuai dengan spesifikasi pada mesin las, Pada mesin las konvensional yang digunakan memiliki daya 3000 watt, sedangkan mesin las robot memiliki daya 5000 watt.

Dalam perhitungan biaya operasional biaya penggunaan listrik perlu diperhatikan pada Tabel VI.16 adalah biaya penggunaan listrik penggunaan mesin las robot, sedangkan pada Tabel VI.17 adalah biaya penggunaan listrik mesin las konvensional.

Tabel VI. 16 Biaya Listrik Mesin Las Robot

Biaya Listrik Mesin Las Robot		
Rincian	Satuan	
Jam operasi robot las per hari	6	Jam
Duty Cycle	60	%
Besar arus yang digunakan	320-500	Amps
Daya perangkat robot las	5000	Watt
Daya pemakaian listrik untuk robot las	30	kWh
Jumlah Tenaga Kerja Operator Robot Las	6	Orang
Jumlah Mesin Robot Las	3	Unit
Biaya operator robot las per hari	350.000	Rupiah
Biaya listrik per kWh	1.343	Rupiah
Biaya operasional robot las	40.289	Rupiah
Biaya overhead per hari	8.058	Rupiah
Total Biaya Listrik Robot Las per Hari	48.347	Rupiah
Total Biaya Listrik Robot Tahunan	38.291.046	Rupiah

Tabel VI. 17 Biaya Listrik Mesin Las Konvensional

Total Biaya Listrik Las Konvensional per Hari		
Rincian	Satuan	
Jam operasi welder per las hari	6	Jam
Duty Cycle	45	%
Besar arus yang digunakan	300 -350	Amps
Daya perangkat robot las	3000	Watt
Daya pemakaian listrik untuk robot las	18	kWh
Jumlah Welder	29	Unit
Jumlah Mesin Las	29	Unit
Biaya tenaga kerja per hari	300.000	Rupiah
Biaya listrik per kWh	1.343	Rupiah
Biaya operasional robot las	24.174	Rupiah
Biaya overhead per hari	4.835	Rupiah
Total Biaya Listrik mesin las konvensional per Hari	29.008	Rupiah
Total Biaya Listrik mesin las konvensional per Tahun	222.088.065	Rupiah

Perhitungan perbandingan estimasi biaya kelistrikan penggunaan mesin las robot dengan pengelasan konvensional dapat dilihat pada Tabel VI.16 dan VI.17. Pada tabel tersebut total biaya listrik dalam satu tahun menggunakan untuk 3 unit robot sebesar Rp 39.291.810,- sedangkan biaya listrik jika menggunakan 29 unit mesin las konvensional, maka mengeluarkan biaya sebesar Rp 222.088.065,-. Dari hasil analisa tersebut kombinasi penggunaan mesin las robot dapat menghemat 85% dari dari total biaya listrik jika hanya menggunakan mesin las konvensional

VI.3.3 Perbandingan Biaya Pemeliharaan

Biaya Pemeliharaan adalah biaya yang untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan. Atau disebut dengan investasi ulang, dengan mengganti komponen-komponen inti atau sekunder yang mengalami kerusakan yang tak terduga karena kecelakaan waktu pemakaian dari penggunaan mesin las robot dan mesin las konvensional perbandingan biaya mesin las robot dengan mesin las konvensional tentu sangat berbeda.

Dalam perhitungan biaya operasional biaya pemeliharaan perlu diperhatikan pada Tabel VI.18 adalah total biaya pemeliharaan mesin las robot dalam satu tahun sedangkan pada Tabel VI.19 adalah total biaya pemeliharaan mesin las konvensional dalam satu tahun

Tabel VI. 18 Biaya Pemeliharaan Mesin Las Robot

Biaya Pemeliharaan Mesin Las Robot			
Nama Barang	Jumlah Unit	Harga/Unit	Harga Total
Maintenance Axial Rotor	3	10.000.000	30.000.000
Ganti Konektor Kabel Plug Las	3	140.000	420.000
Ganti Torch Las	3	630.000	1.890.000
Maintenance Lengan Robot	3	200.000	600.000
Maintenance Servo Motor	3	10.000.000	30.000.000
Service Railway Slider	5	10.000.000	50.000.000
Ganti Kontaktip	3	27.000	81.000
Ganti Spiral	3	22.000	66.000
Ganti Nozzle	3	32.000	96.000
Jumlah			113.153.000

Tabel VI. 19 Biaya Pemeliharaan Mesin Las Konvensional

Biaya Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			
Nama Barang	Jumlah Unit	Harga/Unit	Harga Total
Maintenance Trafo	29	5.000.000	145.000.000
Ganti Selenoid Valve	29	3.000.000	87.000.000
Maintenance Fan (Kipas PENDINGIN)	29	1.700.000	49.300.000
Maintenance Dinamo Mesin Las	29	5.000.000	145.000.000
Ganti Kontaktip	29	27.000	783.000
Ganti Spiral	29	22.000	638.000
Ganti Nozzle	29	32.000	928.000
Ganti Regulator	29	630.000	18.270.000
Jumlah			446.919.000

Perhitungan perbandingan estimasi biaya pemeliharaan mesin las robot dengan pengelasan konvensional dapat dilihat pada Tabel VI.18 dan VI.19. Pada tabel tersebut total biaya pemeliharaan dalam satu tahun menggunakan 3 unit mesin las robot sebesar Rp 113.153.000,- sedangkan biaya pemeliharaan menggunakan 29 unit mesin las konvensional mengeluarkan biaya sebesar Rp 446.919.000,-. Dari hasil analisa tersebut biaya penggunaan mesin las robot dapat menghemat 74% dari total biaya pemeliharaan jika hanya menggunakan mesin las konvensional.

VI.3.4 Perbandingan Biaya Pengelasan Untuk Satu *Joint*

Dalam perhitungan perbandingan biaya pengelasan yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah melakukan survey untuk *WPS (Welding Procedure Specification)* pengelasan pipa untuk struktur *jacket* bangunan lepas pantai, telah didapat *travel speed*

rata-rata pengelasan konvensional 137 mm/menit jadi dalam sehari *welder* dapat mengelas sepanjang 57.540 mm/hari dalam sehari 7 jam sedangkan robot mengelas dengan kecepatan 272 mm/menit jadi dalam sehari robot dapat mengelas sepanjang 114.240 mm/hari dihitung jam sehari kerja efektif 7 jam kerja efektif. Sehingga penelasan untuk satu *joint* dapat dilihat pada Tabel VI.20

Tabel VI. 20 Perbandingan Biaya Pengelasan Dalam Satu *Joint* Pipa

Perbandingan Biaya Per Joint									
No	Description	length(mm)	length(m)	Jumlah	Panjang Las 1 Join	Waktu las per	Harga las perjoint	Biaya total	Mesin las yang di gunakan
				Layer	(mm)	(join/menit)	Rupiah	Rupiah	
1	20"x1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	85	70.822	18.697.109	Mesin Las Robot
2	20"x1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292	Mesin las konvensional

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel VI.20 dapat dilihat perbandingan biaya satu *joint* pada pipa struktur *jacket* biaya per *joint* yang sudah dijelaskan sebelumnya, jadi perbandingan biaya pengelasan untuk satu *joint* pipa dengan diameter 20 inch dan tebal standart 1 inch jika menggunakan pengelasan konvensional satu *joint* sebesar Rp. 25.830.292,- sedangkan biaya pengelasan robot sebesar Rp. 18.697.109,-, persentase perbandingan pengelasan konvensional dengan pengelasan robot untuk satu *joint* sebesar 27,6% lebih murah menggunakan pengelasan robot.

VI.3.5 Perbandingan Biaya Pengelasan Seluruh *Joint*

Pada perhitungan perbandingan biaya pengelasan yang pada seluruh *joint* pada seleuruh *joint* konstruksi pipa struktur *jacket* bangunan lepas pantai meliputi kaki *jacket*, *diagonal brace*, *horizontal brace*, jika sebelumnya seluruh struktur *jacket* 100% proses pengelasannya konvensional. Pada penelitian ini robot pengelasan akan melakukan pengelasan 87% bagian dari seluruh struktur *jacket* adalah struktur *brace* yang akan dilas dengan robot dan sisanya 13% *leg* menggunakan pengelasan konvensional. Dari seluruh *joint* pada struktur *jacket* dapat digantikan pengelasan dengan menggunakan robot dengan total seluruh *joint* ada 116 *joint* dengan pembagian *leg* 15 *joint* dan *brace* 101 *joint* dikerjakan dengan mesin las konvensional sedangkan seluruh *brace* dikerjakan dengan mesin las robot, untuk biaya perbandingan seluruh konstruksi dapat dilihat pada Tabel VI.21 dan VI.22

Tabel VI. 21 Biaya Pengelasan Mesin Las Robot Seluruh *Brace Joint* Pada Struktur *Jacket*

Total Biaya Pengelasan Mesin Las Robot Pada Seluruh Brace					
Pengelasan Robot Pada Brace			Jumlah	Jumlah	
1. Diagonal Brace Elevation ROW A	=	Rp	402.267.912	1 Operator	
2. Diagonal Brace Elevation ROW B	=	Rp	460.640.818	1 Operator	
3. Diagonal Brace Elevation ROW 1 &2	=	Rp	422.224.000	1 Operator	
4. Horizontal Brace Elevation ROW A & B	=	Rp	355.245.080	1 Operator	
5. Horizontal Brace Elevation ROW A1 & A2	=	Rp	186.971.095	1 Operator	
6. Horizontal Brace Elevation ROW B1 & B2	=	Rp	186.225.985	1 Operator	
Jumlah Total			Rp 2.013.574.891		72,67%

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel VI.21 biaya pengelasan seluruh struktur *jacket* menggunakan mesin las robot untuk pengelasan seluruh *brace* dengan jumlah 101 *joint brace* 72,6 % bagian dari seluruh *joint* konstruksi yang las dikerjakan dengan pengelasan robot dan memperoleh biaya pendapatan Rp. 2.013.574,891,- sedangkan sisanya 27,3% untuk pengelasan *joint leg* yang berjumlah 16 *joint* menggunakan mesin las konvensional memperoleh biaya pendapatan sebesar Rp. 788.170.743,- berdasarkan analisa tersebut dengan menggunakan mesin las robot, 72,6% bagian dari struktur *jacket* dapat dilakukan dengan mesin las robot.

Tabel VI. 22 Biaya Pengelasan Konvensional Seluruh *Joint* Pada Struktur *Jacket*

Total Biaya Pengelasan Brace Mesin Las Konvensional					
Pengelasan Konvensional Untuk Brace		Jumlah	Dikerjakan		
1. Diagonal Brace Elevation ROW A	=	555.738.192	7	Welder	
2. Diagonal Brace Elevation ROW B	=	636.381.096	6	Welder	
3. Diagonal Brace Elevation ROW 1 &2	=	583.307.778	6	Welder	
4. Horizontal Brace Elevation ROW A & B	=	490.775.556	6	Welder	
5. Horizontal Brace Elevation ROW A1 & A2	=	258.302.924	2	Welder	
6. Horizontal Brace Elevation ROW B1 & B2	=	257.273.546	2	Welder	
Jumlah Total		= 2.781.779.092	29	Welder	78,6 %

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel VI.21 dan Tabel VI.22 jika 100 % pengelasan dilakukan oleh *welder* konvensional dengan jumlah *joint* yang sama 101 *joint* ,biaya pengelasan seluruh untuk *brace* saja yang untuk pengelasan konvensional struktur *jacket* menggunakan mesin las konvensional sebesar Rp. 2.781.779.059,- biaya pengelasan tersebut lebih mahal jika hanya menggunakan *welder* konvensional karena jika menggunakan kombinasi mesin las robot maka 72,6% bagian bisa dikerjakan dengan robot dan akan memangkas biaya sebesar Rp. 2.781.779.092 - Rp. 2.013.574,891,- = Rp. 768.204.202,- dari hasil perhitungan tersebut penggunaan mesin las robot dapat menghemat 27,6% dari biaya pengelasan konvensional untuk *brace*.

VI.3.6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja Langsung

Biaya tenaga kerja adalah biaya yang dikeluarkan untuk kebutuhan tenaga kerja selama proses produksi. Biaya tenaga kerja langsung adalah gaji atau upah atau biaya tenaga kerja yang berhubungan langsung dengan pembuatan produk, urutan pekerjaan tertentu, atau penyediaan layanan.

Dalam biaya tenaga kerja langsung yang terlibat meliputi, biaya *welder*, dan operator robot las. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel V.25 dan Tabel V.26 merupakan perbandingan antara tenaga kerja langsung dengan tanpa menggunakan robot dengan tenaga kerja langsung dibantu dengan fasilitas penunjang robot las dapat dilihat besarnya pengeluaran untuk biaya tenaga kerja tak langsung dan tenaga kerja langsung untuk industri manufaktur bangunan lepas pantai:

Penambahan petugas operator untuk menjalankan mesin las robot tersebut tentunya memberikan dampak kenaikan terhadap biaya tenaga kerja serta biaya pemeliharaan alat serta biaya penyusutannya. Dengan operator yang telah berpengalaman mengoperasikan mesin las robot, membuat kegiatan pelayanan tidak terhambat oleh ketersediaan operator atau sumber daya manusia. Untuk perbandingan biaya tenaga kerja *welder* konvensional dengan operator mesin las robot dapat dilihat pada Tabel VI. 23 dan Tabel VI. 24 dibawah ini:

Tabel VI. 23 Biaya Tenaga Kerja Langsung Tanpa Peran Robot Las

BIAYA TENAGA KERJA WELDER KONVENSIONAL					
No	Jabatan	Jumlah orang	Gaji/hari	Total Gaji/Bulan	Gaji/proyek
1	Welder	29	Rp 168.000	Rp 107.184.000	Rp 1.286.208.000
	Jumlah	29			Rp 1.286.208.000

Tabel VI. 24 Biaya Tenaga Kerja Langsung dibantu Peran Robot

BIAYA TENGA KERJA OPERATOR MESIN LAS ROBOT					
No	Jabatan	Jumlah orang	Gaji/hari	Total Gaji/Bulan	Gaji/proyek
1	Operator Mesin Las Robot	6	Rp 350.000	Rp 46.200.000	Rp 554.400.000
	Jumlah	6			Rp 554.400.000

Dari hasil perhitungan total biaya investasi, yang ditunjukkan pada Tabel V.23 dan V.24 maka dapat disimpulkan bahwa pada biaya tenaga *welder* konvensional yang membutuhkan biaya sebesar Rp. 1.286.208.000,- dapat digantikan dengan mesin las robot dengan 6 operator robot las dengan biaya Rp. 544.400.000,- . Dari hasil perbandingan dengan

ditambahkan mesin las robot tenaga kerja *welder* dapat dialihfungsikan atau dikurangi sebesar 56% akibat pengurangan jumlah tenaga kerja pengeluaran biaya tenaga kerja dapat dihemat sebesar 56 % dari jumlah biaya *welder* sebelum digantikan peran robot. Hasil analisa tersebut berdasarkan perhitungan dari data WPS yang untuk struktur pipa *jacket* dengan diameter 20 inch dan tebal 1 inch.

VI.3.7 Selisih Biaya Operasional Penggunaan Mesin Las Robot

Perbandingan selisih biaya operasional robot dan pengelasan konvensional dapat dilihat pada Tabel VI. 25 dari selisih penghematan tersebut dapat digunakan sebagai pendapatan biaya pengelasan untuk mengembalikan modal investasi awal.

Tabel VI. 25 Selisih Biaya Operasional

Selisih Biaya Operasional				
Tahun Ke	Konvensional	Robot	Penghematan	Akumulasi Penghematan
	(6.903.596.000)			
1	2.114.610.065	1.181.044.046	933.566.020	933.566.020
2	0,00	1.181.044.046	933.566.020	1.867.132.039
3	0,00	1.181.044.046	933.566.020	2.800.698.059
4	0,00	1.181.044.046	933.566.020	3.734.264.079
5	0,00	1.181.044.046	933.566.020	4.667.830.098
6	0,00	1.181.044.046	933.566.020	5.601.396.118
7	0,00	1.181.044.046	933.566.020	6.534.962.138
8	0,00	1.181.044.046	933.566.020	7.468.528.157
9	0,00	1.181.044.046	933.566.020	8.402.094.177
10	0,00	1.181.044.046	933.566.020	9.335.660.196
11	0,00	1.181.044.046	933.566.020	10.269.226.216
12	0,00	1.181.044.046	933.566.020	11.202.792.236
13	0,00	1.181.044.046	933.566.020	12.136.358.255
14	0,00	1.181.044.046	933.566.020	13.069.924.275
15	0,00	1.181.044.046	933.566.020	14.003.490.295
16	0,00	1.181.044.046	933.566.020	14.937.056.314
17	0,00	1.181.044.046	933.566.020	15.870.622.334
18	0,00	1.181.044.046	933.566.020	16.804.188.354
19	0,00	1.181.044.046	933.566.020	17.737.754.373
20	0,00	31.339.048.953	33.453.659.019	51.191.413.392

Berdasarkan Tabel VI.25 menunjukkan bahwa perbandingan selisih biaya operasional penggunaan robot las tiap tahun diasumsikan tetap karena pengelasan proses penggunaan belum terjadi dan masih direncanakan dari tabel tersebut dapat dilihat selisih biaya penggunaan mesin las konvensional pada tahun pertama digantikan pengelasan robot hingga tahun berikutnya tidak menggunakan mesin las konvensional lagi, kemudian untuk mengembalikan investasi awal dari proses pengelasan tersebut. Sehingga selisih biaya operasional tersebut diakumulasikan untuk biaya pendapatan lain untuk menambah pemasukan perusahaan

VI.3.8 Perhitungan Pendapatan Lain- Lain

Pendapatan perusahaan diperoleh dari selisih biaya operasional pengelasan robot dan konvensional karena pendapatan untuk mengembalikan investasi robot didapat dari penghematan biaya operasional pengelasan *joint brace* dan saving biaya operasional pengelasan proyek lain maka investasi akan kembali dapat dilihat pada tabel dari biaya pengelasan struktur *jacket* dan pengelasan proyek lain-lain dapat perlu ditambahkan proyek lain selain membangun struktur *jacket* karena pesanan struktur *jacket* tidak selalu ada maka proyek lain yang dikerjakan seperti pengelasan tangki-tangki atau pipa-pipa untuk konstruksi bangunan darat.

Berdasarkan pada Tabel VI. 26 merupakan biaya akumulasi pendapatan dari penghematan pengelasan *brace* tiap tahun, pendapatan dari pengelasan seluruh *joint brace* menggunakan mesin las konvensional yang akan digantikan dengan pengelasan *joint brace* menggunakan mesin las dalam satu proyek tiap tahun dan ditambahkan biaya penghematan pengelasan proyek lain dengan estimasi sebesar 50% dari penghematan biaya pengelasan *joint brace* maka diasumsikan tetap kemudian diakumulasikan sebagai pendapatan tambahan tiap tahun.

Tabel VI. 26 Perhitungan Akumulasi Pendapatan Saving Biaya Operasional

Akumulasi Penghematan Biaya Pengelasan <i>Brace</i>					
Tahun Ke	Tahun	Biaya Penghematan Operasional Pengelasan <i>Brace</i>	Biaya Penghematan Pengelasan Proyek Lain-Lain	Jumlah Penghematan Pertahun	Akumulasi Penghematan Pertahun
		(6.903.596.000)			
1	2018	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	1.400.349.029
2	2019	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	2.800.698.059
3	2020	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	4.201.047.088
4	2021	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	5.601.396.118
5	2022	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	7.001.745.147
6	2023	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	8.402.094.177
7	2024	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	9.802.443.206
8	2025	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	11.202.792.236
9	2026	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	12.603.141.265
10	2027	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	14.003.490.295
11	2028	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	15.403.839.324
12	2029	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	16.804.188.354
13	2030	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	18.204.537.383
14	2031	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	19.604.886.413
15	2032	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	21.005.235.442
16	2033	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	22.405.584.472
17	2034	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	23.805.933.501
18	2035	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	25.206.282.530
19	2036	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	26.606.631.560
20	2037	33.453.659.019	16.726.829.509	50.180.488.528	76.787.120.088

VI.3.9 Analisa Kelayakan Investasi

Dengan memperhatikan Tabel VI.26 pendapatan diperoleh dari penghematan biaya operasional *brace* dengan menggunakan mesin las robot dan penghematan biaya operasional pengelasan proyek lain, maka dapat disusun perhitungan *net present value* produk hasil pengelasan robot dengan beberapa asumsi sebagai berikut :

- Dengan menggunakan modal milik perusahaan jadi tingkat suku bunga ditentukan oleh perusahaan berdasarkan kenaikan inflasi rata-rata sebesar 8% dan tidak ada kewajiban untuk mengembalikannya ke pihak bank.
- Harga-harga yang ditetapkan adalah harga pada tahun 2017 dan kemungkinan masih akan terjadi kenaikan harga.
- Harga peralatan produksi sangat bervariasi tergantung oleh spesifikasi alat dan hasil negosiasi dengan pihak penjual.

Tabel VI. 27 Perhitungan Kelayakan Investasi dengan metode NPV

				Tingkat Suku bunga	8%	
Perhitungan NPV						
Tahun Ke	Tahun	Arus Kas Pertahun	Discoun Factor	Present Value (Arus Kas/DF)	Akumulasi Pendanaan	Akumulasi NPV
		(6.903.596.000)	1,0			
1	2018	1.400.349.029	0,93	1.512.376.952	1.512.376.952	(5.391.219.048)
2	2019	1.400.349.029	0,86	1.633.367.108	3.145.744.060	(3.757.851.940)
3	2020	1.400.349.029	0,79	1.764.036.477	4.909.780.536	(1.993.815.464)
4	2021	1.400.349.029	0,74	1.905.159.395	6.814.939.931	(88.656.069)
5	2022	1.400.349.029	0,68	2.057.572.146	8.872.512.077	1.968.916.077
6	2023	1.400.349.029	0,63	2.222.177.918	11.094.689.996	4.191.093.996
7	2024	1.400.349.029	0,58	2.399.952.151	13.494.642.147	6.591.046.147
8	2025	1.400.349.029	0,54	2.591.948.324	16.086.590.471	9.182.994.471
9	2026	1.400.349.029	0,50	2.799.304.189	18.885.894.660	11.982.298.660
10	2027	1.400.349.029	0,46	3.023.248.525	21.909.143.185	15.005.547.185
11	2028	1.400.349.029	0,43	3.265.108.407	25.174.251.591	18.270.655.591
12	2029	1.400.349.029	0,40	3.526.317.079	28.700.568.670	21.796.972.670
13	2030	1.400.349.029	0,37	3.808.422.445	32.508.991.116	25.605.395.116
14	2031	1.400.349.029	0,34	4.113.096.241	36.622.087.357	29.718.491.357
15	2032	1.400.349.029	0,32	4.442.143.940	41.064.231.297	34.160.635.297
16	2033	1.400.349.029	0,29	4.797.515.456	45.861.746.753	38.958.150.753
17	2034	1.400.349.029	0,27	5.181.316.692	51.043.063.445	44.139.467.445
18	2035	1.400.349.029	0,25	5.595.822.027	56.638.885.472	49.735.289.472
19	2036	1.400.349.029	0,23	6.043.487.790	62.682.373.262	55.778.777.262
20	2037	50.180.488.528	0,21	233.889.106.487	296.571.479.749	289.667.883.749
Total		76.787.120.088		296.571.479.749		
ROI	2.279.398.470,57					

Tabel VI. 28 Perhitungan IRR dan ROI

ROI (Return of Invesment)	2.279.398.470,57	
Internal Rate Return	13,43%	
Payback Periode	7,1	tahun
	7	tahun
	1	bulan
	Go Project / Layak	

Pada Tabel VI. 28 diatas menunjukkan perhitungan waktu investasi kembali untuk pembangunan penggunaan mesin las robot akan kembali pada tahun 2025 atau pada tahun ke-7 bulan ke-1 berdasarkan pendapatan dari selisih biaya operasional dan *ROI* sebesar Rp. 2.279.398.470,-. Dengan investasi awal Rp 6.903.596.000,- yang ditunjukan pada Tabel VI.27, dengan nilai *ROI* Positif. Dan prosentase nilai *Internal Rate Return* (IRR) 13,43% melebihi bunga yang telah ditentukan yakni 8%. Sehingga investasi penggunaan mesin las robot pada struktur *jacket* bangunan lepas pantai layak diterapkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Proses pengelasan struktur *jacket* pada bangunan lepas pantai diawali dari pembuatan program gerakan robot las kemudian persiapan *fit-up* benda kerja yang akan dilas. Selanjutnya mempersiapkan kaki robot beserta relnya untuk memudahkan perpindahan alat las saat proses berlangsung. Robot akan melakukan pengelasan pada titik *joint* dengan mengikuti jalur yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah semua titik *joint* telah selesai diproses, maka dilakukan pengecekan ulang untuk menghindari kesalahan pengelasan.
2. Perbedaan antara pengelasan konvensional dengan pengelasan dibantu robot terletak pada durasi pengelasan yang dibutuhkan mesin untuk menyelesaikan prosesnya. Waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan dengan pengelasan robot adalah 2 kali lebih cepat dari pengelasan konvensional.
3. Biaya operasional pengelasan *brace* menggunakan pengelasan konvensional dalam satu tahun adalah Rp 2.114.610.065,- sementara pengelasan dengan *robotic welding* membutuhkan biaya operasional Rp 1.181.044.046,-. Biaya operasional pengelasan *brace* dapat dihemat Rp 933.566.020,-, atau 44% dari biaya operasional pengelasan konvensional untuk pengelasan *brace*. Robot las mampu mengerjakan pengelasan seluruh pekerjaan *joint brace* struktur *jacket* selama 6 bulan. Jika proyek telah selesai, *robotic welding* dapat menyelesaikan proyek tambahan lagi dengan estimasi biaya penghematan pengelasan sebesar 50% dari biaya penghematan *brace* yaitu sebesar Rp 466.783.010,-
4. Investasi pengembalian mesin las robot dapat kembali pada tahun ke-7 bulan ke-1 dengan *Internal Rate Return* (IRR) 13,43% Pada tahun tersebut *Return of Investment* (ROI) memiliki nilai sebesar Rp. 2.279.398.470,-. dengan nilai ROI positif, maka penggantian mesin pengelasan dari konvensional ke pengelasan robot dinyatakan layak.

VII.2 Saran

1. Perlu adanya SOP (*Standard Operating Procedure*) dan kualitas kontrol untuk pengelasan robot yang benar dan tepat agar hasil kualitas dari material dan finishing tetap terjaga.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk pihak akademik dan penelitian penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- Ang Jr, M. H. (1999). A walk-through Programmed Robot For Welding in Shipyard. *Industrial Robot: An International Journal*, 379-382.
- Aziz. (2016, Juni 23). Data Gambaran Umum Struktur *Jacket* Proyek HMCL . (F. H. Purnomo, Pewawancara)
- Fahrul, F. (2013, 7 April). *Macam macam Jenis Proses Pengelasan*. Dipetik Februari 3, 2015, dari Tentang Pengelasan: <http://fajrulhaq.mywapblog.com/macammacam-proses-dan-jenis-pengelasan.xhtml>
- Fariya, S. (2014). *Analisa Teknis dan Ekonomis training Pengelasan Menggunakan Weldin Simulator Berbasis Pemrograman Komputer Sebagai Pengganti Elektroda Konvensional*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, Jurusan Teknik Perkapalan.
- Halim, S. (2007). *Merancang Mobile Robot Pembawa Objek Menggunakan OOPic-R*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Harisuryo, R. (2012, Mei 5). *PROSES OTOMATISASI PENGELASAN MENGGUNAKAN ARC WELDING ROBOT*. Dipetik November 04, 2016, dari electro.undip.ac.id: <https://www.scribd.com/doc/257709632/Otomatisasi-Pengelasan-Menggunakan-Arc-Welding-Robot-Otc-Daihen-Almega-Ax-V6>
- Hidayat, F. (2012, Juli 5). *Metode Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding)*. Dipetik Januari 14, 2017, dari Setetes Air di Hamparan Samudra: <http://fadelmazuki.blogspot.co.id/2016/10/metode-pengelasan-smaw-shield-metal-arc.html>
- Hidratmo, A. (2012, 1 Mei). *Aplikasi Ergonomi*. Dipetik Februari 4, 2016, dari Pentingnya Peranan Robot Bagi Manusia Baik Dalam Dunia Industri Maupun Kehidupan Sehari-hari: <https://aplikasiergonomi.wordpress.com/2012/04/12/pentingnya-peranan-mesin-robot-bagi-manusia-baik-dalam-dunia-industri-maupun-kehidupan-sehari-hari/>
- Januarta, B. (2015, Oktober 25). *Unik dan Update*. Dipetik Februari 11, 2017, dari Fungsi Jig Pada Mesin Las Robot: <http://okaradiatorspring.blogspot.co.id/2015/09/fungsi-jig-pada-mesin-las-robot.html?m=1>
- Kurniawan, M. (2012, Juni 2). *Jenis Robot*. Dipetik Februari 3, 2015, dari Robotku: <http://mkurniawan286.blogspot.co.id/p/cyborg.html>
- Mulyana. (2013, April Juni). *MACAM-MACAM MESIN LAS LISTRIK*. Dipetik April 2017, 2017, dari Apa Itu Islam: <https://zomblosyndikat.blogspot.co.id/2015/09/macam-macam-mesin-las-listrik.html>
- Pieres, J. e. (1997). CAD Interface For Automatic Robot Welding Programing. *Mechanical Engineering Departement, University Of Coimbra Portugal*, 71.
- Prof. Salengke, M. (2012). *Engineering Economy*. Makassar: Universitas Hasanudin.

- Putra, F. (2015). *Analisa Teknis dan Ekonomis Pembangunan Industri Manufaktur Bangunan Lepas Pantai Di Jawa timur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, Jurusan Teknik Perkapalan, Surabaya.
- Rahim, R. A. (2015). Inspection by Ultrasonic Tomography (UT) Leading Trend in Welding Joint Monitoring. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 77:17 (2015) 1–9.
- Rahmawati, D. (2013, Maret 4). *MACAM-MACAM MESIN LAS LISTRIK*. Dipetik April 3, 2017, dari dyahayukrahmawati: <https://dyahayukrahmawati.wordpress.com/2013/06/28/macam-macam-mesin-las-listrik/>
- Ricky, R. (2013, November 2). *Cara Penyambungan Pipa*. Dipetik April 5, 2017, dari Teknik Mesin: <http://yoekibo-mesin.blogspot.co.id/2013/02/cara-penyambungan-pipa.html>
- Ridho, J. (2014, May 12). *Media Informasi Teknologi*. Dipetik March 15, 2017, dari Teknologi Bangunan Lepas Pantai bagian 1: <http://operator-it.blogspot.co.id/2013/11/teknologi-produksi-bangunan-lepas.html>
- Sahid. (2012, September 23). *Terus Berinovasi*. Dipetik Mei 21, 2017, dari Welder GTAW/SMAW: <https://wolusongo.wordpress.com/career/lowongan-kerja-welder-dalam-negeri-2012/new-job/>
- Salim HS dan Budi Sutrisno. (2008). *Hukum Investasi Indonesia*. Jakarta: PT Raja Grafindo.
- Tsuji, S. (1989). Introduction of Welding Robot on Shipyard. Dalam S. Tsuji, *Advanced Robotic, The International Journal of The Robotics Society of Japan* (hal. Vol. 3, No.1, pp 35 51). Japan: VSP BV and Robotic Society of Japan.
- Wahadan, W. (2010, Mei 9). *Ngelas Pake Robot*. Dipetik December 2, 2016, dari <http://toekanglas.blogspot.com>: <http://toekanglas.blogspot.co.id/2010/05/ngelas-pake-robot.html>
- Wignjosoebroto, S. (1991). *Tata Letak Pabrik Dan Pemindahan Bahan*. Surabaya: PT. Bima Ilmu Offset.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A : (Konsep Simulasi Pengelasan Robot)

LAMPIRAN B : (Perhitungan Teknis Pengelasan Robot)

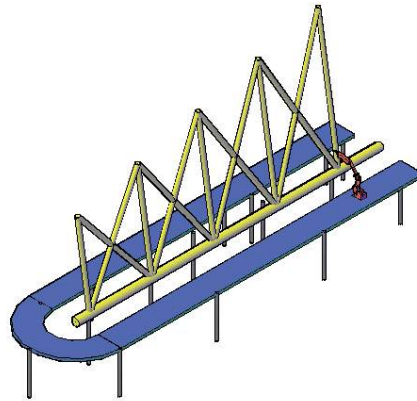
LAMPIRAN C : (Perhitungan Kapasitas Produksi Pengelasan)

LAMPIRAN D : (Perhitungan Perbandingan Ekonomis Penggunaan Robot
dengan Konvensional)

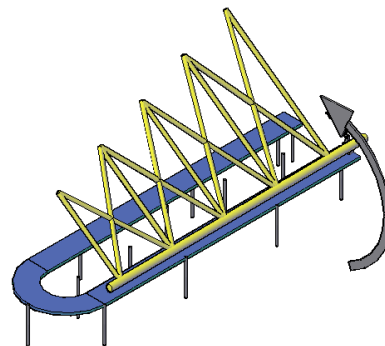
LAMPIRAN A
Konsep Simulasi Pengelasan Robot

A.1 *Building Sequence*

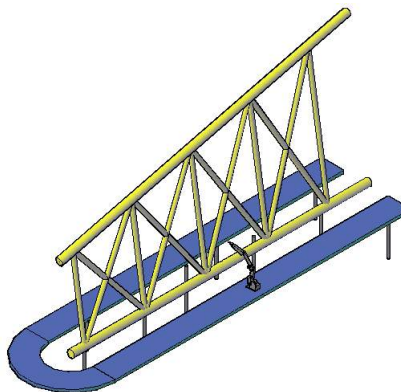
- Langkah 1



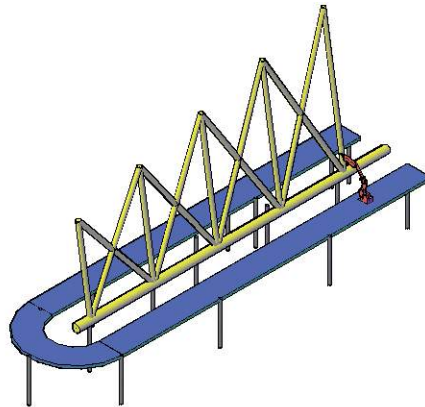
- Langkah 2



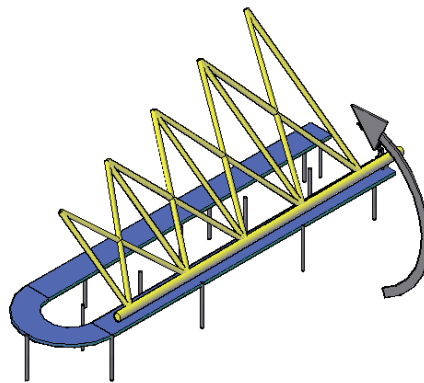
- Langkah 3



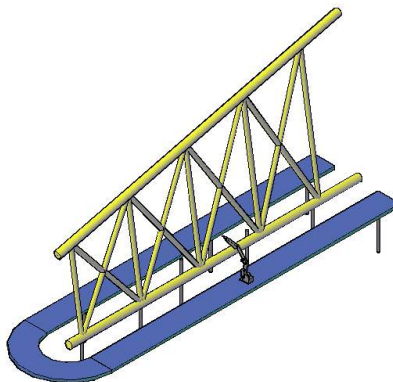
- Langkah 4



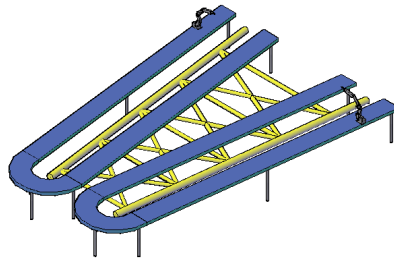
- Langkah 5



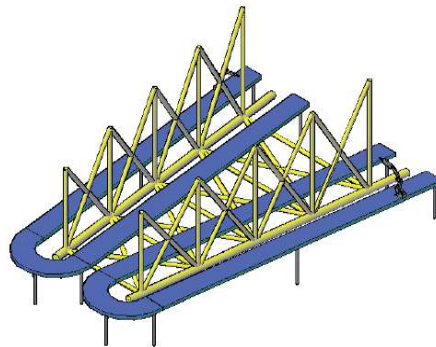
- Langkah 6



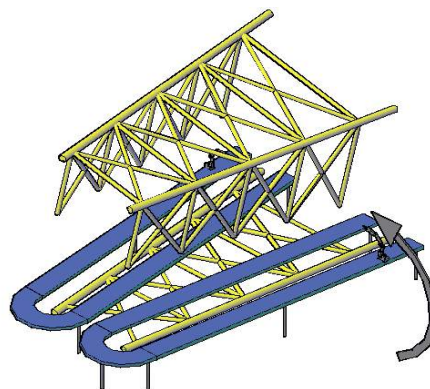
- Langkah 7



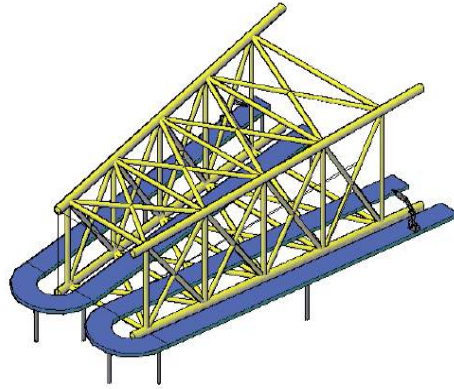
- Langkah 8



- Langkah 9



- Langkah 10



LAMPIRAN B
Perhitungan Teknis Pengelasan Robot

Lampiran B.1.2 Perhitungan Konvensional ROW B

Elevation ROW B																	
NO	ITEM	Description	Weigth	Total Weight	Length las2an	Sudut	Jumlah	t root	t hot pass	f1	f2	f3	f4	f5	f pipe 2'	cap	total time
		(LBS/FT.	(LBS)		(mm)	(Degree)	Layer	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1	PI49-1A	49"øx2.000"W.T	1004,88	60292,73	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	360	45	775
2	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1004,88	64312,24	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	360	45	775
3	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1004,88	42539,87	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	360	45	775
4	PI47½-2A	49"øx1.000"W.T	618,02	51197,37	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	0	45	415
5	PI47-5A	49"øx1.000"W.T	491,75	19434,34	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	0	45	415
6	PI47-5B	49"øx1.000"W.T	491,75	12350,08	1244,6	60	16	100	45	45	45	45	45	45	0	45	415
7	PI16-5A	20"øx1.000"W.T	160,35	4547,53	1553,4	52	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
8	PI16-6A	20"øx1.000"W.T	160,35	4893,88	1553,4	52	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
9	PI16-7A	20"øx1.000"W.T	160,35	6412,40	1726,5	47	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
10	PI16-8A	20"øx1.000"W.T	160,35	6064,44	1726,5	47	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
11	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	197,1	1702,94	1604,4	107	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
12	PI16-5C	20"øx1.000"W.T	102,73	3330,51	1611	55	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
13	PI16-6C	20"øx1.000"W.T	102,73	3587,33	1611	55	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
14	PI16-7C	20"øx1.000"W.T	102,73	4388,63	1849,7	41	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
15	PI16-8C	20"øx1.000"W.T	102,73	4131,80	1849,7	41	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
16	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	160,35	1603,53	1570,6	96	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
17	PI18-5A	20"øx1.000"W.T	116,09	4347,57	1561,8	60	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
18	PI18-6A	20"øx1.000"W.T	116,09	4637,80	1561,8	60	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
19	PI18-7A	20"øx1.000"W.T	116,09	5467,84	1744,3	46	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
20	PI18-8A	20"øx1.000"W.T	116,09	5177,61	1744,3	46	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
21	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	149,20	1492,00	1594,7	105	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
22	PI24-5A	20"øx1.000"W.T	245,87	10329,00	1517,5	66	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
23	PI24-6A	20"øx1.000"W.T	245,87	11189,54	1517,5	66	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
24	PI24-7A	20"øx1.000"W.T	245,87	12895,88	1650,7	52	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
25	PI24-8A	20"øx1.000"W.T	245,87	12035,34	1650,7	52	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
26	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	318,21	4454,96	1666,8	117	8	45	20	20	20	20	20	20	0	20	185
Total Waktu																=	7270

Lampiran B.1.3 Perhitungan Konvensional ROW 1 & 2

Elevation ROW 1 & 2																	
NO	ITEM	Description	Weigth	Total Weight	Jumlah	Panjang Las	2ar	sudut	t root	t hot pass	f1	f2	f3	f4	f5	cap	total time
1		(LBS/FT.	(LBS)	Layer	(mm)	(degree)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	160,35	8132,95	8	1689,3	49	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
2	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	160,35	9425,37	8	1742,5	46	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
3	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	160,35	11468,23	8	1901,2	39	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
4	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	160,35	10053,95	8	1823,8	42	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	197,1	1971,00	8	1567,4	88	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
6	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	102,73	5424,14	8	1820,4	42	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
7	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	102,73	6293,24	8	1898,3	39	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
8	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	102,73	7355,47	8	2142,4	32	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
9	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	102,73	6416,52	8	2021,5	35	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	160,35	1603,53	8	1598,3	75	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
11	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	116,09	6549,80	8	1739,6	46	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
12	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	116,09	7569,07	8	1801,7	43	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
13	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	116,09	8644,06	8	1991,3	46	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
14	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	116,09	7555,14	8	1898,3	39	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	149,20	1492,00	8	1573,7	83	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
16	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	245,87	14958,73	8	1674,9	50	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
17	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	245,87	17269,91	8	1724,9	47	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
18	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	245,87	19433,56	8	1874,9	40	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
19	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	245,87	16979,78	8	1801,7	43	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	318,21	3392,12	8	1570,6	90	45	20	20	20	20	20	20	20	20	185
Total Waktu																=	3700

Lampiran B.1.4 Perhitungan Konvensional Pada Horizontal brace ROW A & B

[illegible]

Lampiran B.1.5 Perhitungan Konvensional Pada Horizontal Brace Leg A1 & A2

[illegible]

Lampiran B.1.6 Perhitungan Konvensional Pada Horizontal Brace B1 & B2

[illegible]

Lampiran B.2 Perhitungan Waktu Pengelasan Robot

B.2.1 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada ROW A

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW A									
NO	ITEM	Description	Weighth (LBS/FT.	Total Weight (LBS)	Length las2an (mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI49-2A	49"øx2.000"W.T	1004,88	20431,20	1244,6	16	35	45	775
2	PI49-3A	49"øx2.000"W.T	1004,88	20600,02	1244,6	16	35	45	775
3	PI49-4A	49"øx2.000"W.T	1004,88	20760,80	1244,6	16	35	45	775
4	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1004,88	64312,24	1244,6	16	35	45	775
5	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1004,88	42539,87	1244,6	16	35	45	775
5	PI47½-1A	49"øx1.000"W.T	618,02	51495,76	1244,6	16	35	45	775
6	PI47-1A	49"øx1.000"W.T	491,75	38858,02	1244,6	16	35	45	775
7	PI47-3A	49"øx1.000"W.T	491,75	19173,10	1244,6	16	35	45	775
8	PI47-3B	49"øx1.000"W.T	491,75	12672,79	1244,6	16	35	45	775
9	PI47-4A	49"øx1.000"W.T	491,75	38730,17	1244,6	16	35	45	775
10	PI47-2B	49"øx1.000"W.T	491,75	15735,97	1244,6	16	35	45	775
11	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	160,35	4914,73	1553,4	7	500	3,1068	21,75
12	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	160,35	3031,67	1553,4	7	500	3,1068	21,75
13	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	160,35	6093,30	1726,5	7	500	3,453	24,17
14	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	160,35	3380,78	1726,5	7	500	3,453	24,17
15	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	197,1	1702,94	1604,4	7	500	3,2088	22,46
16	PI20-1C	20"øx1.000"W.T	102,73	3598,63	1611	7	500	3,222	22,55
17	PI20-2C	20"øx1.000"W.T	102,73	1618,47	1611	7	500	3,222	22,55
18	PI20-3C	20"øx1.000"W.T	102,73	4146,18	1849,7	7	500	3,6994	25,90
19	PI20-4C	20"øx1.000"W.T	102,73	1871,54	1849,7	7	500	3,6994	25,90
20	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	160,35	1603,53	1570,6	7	500	3,1412	21,99
21	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	116,09	4649,40	1561,8	7	500	3,1236	21,87
22	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	116,09	1663,94	1561,8	7	500	3,1236	21,87
23	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	116,09	5133,50	1744,3	7	500	3,4886	24,42
24	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	116,09	1958,40	1744,3	7	500	3,4886	24,42
25	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	149,20	1492,00	1594,7	7	500	3,1894	22,33
26	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	245,87	11211,67	1517,5	7	500	3,035	21,25
27	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	245,87	3146,43	1517,5	7	500	3,035	21,25
28	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	245,87	12062,38	1650,7	7	500	3,3014	23,11
29	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	245,87	12922,93	1650,7	7	500	3,3014	23,11
30	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	318,21	4454,96	1666,8	7	500	3,3336	23,34
					Total Waktu			=	8985,13

B.2.2 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada ROW B

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW B									
NO	ITEM	Description	Weigth (LBS/FT.	Total Weight (LBS)	Length las2an (mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI49-1A	49"øx2.000"W.T	1004,88	60292,73	1244,6	16	35	45	775
2	PI49-5A	49"øx2.000"W.T	1004,88	64312,24	1244,6	16	35	45	775
3	PI49-6A	49"øx2.000"W.T	1004,88	42539,87	1244,6	16	35	45	775
4	PI47½-2A	49"øx1.000"W.T	618,02	51197,37	1244,6	8	35	45	415
5	PI47-5A	49"øx1.000"W.T	491,75	19434,34	1244,6	8	35	45	415
6	PI47-5B	49"øx1.000"W.T	491,75	12350,08	1244,6	8	35	45	415
7	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	160,35	4547,53	1553,4	7	500	3,1068	21,75
8	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	160,35	4893,88	1553,4	7	500	3,1068	21,75
9	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	160,35	6412,40	1726,5	7	500	3,453	24,17
10	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	160,35	6064,44	1726,5	7	500	3,453	24,17
11	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	197,1	1702,94	1604,4	7	500	3,2088	22,46
12	PI20-5C	20"øx1.000"W.T	102,73	3330,51	1611	7	500	3,222	22,55
13	PI20-6C	20"øx1.000"W.T	102,73	3587,33	1611	7	500	3,222	22,55
14	PI20-7C	20"øx1.000"W.T	102,73	4388,63	1849,7	7	500	3,6994	25,90
15	PI20-8C	20"øx1.000"W.T	102,73	4131,80	1849,7	7	500	3,6994	25,90
16	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	160,35	1603,53	1570,6	7	500	3,1412	21,99
17	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	116,09	4347,57	1561,8	7	500	3,1236	21,87
18	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	116,09	4637,80	1561,8	7	500	3,1236	21,87
19	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	116,09	5467,84	1744,3	7	500	3,4886	24,42
20	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	116,09	5177,61	1744,3	7	500	3,4886	24,42
21	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	149,20	1492,00	1594,7	7	500	3,1894	22,33
22	PI20-5A	20"øx1.000"W.T	245,87	10329,00	1517,5	7	500	3,035	21,25
23	PI20-6A	20"øx1.000"W.T	245,87	11189,54	1517,5	7	500	3,035	21,25
24	PI20-7A	20"øx1.000"W.T	245,87	12895,88	1650,7	7	500	3,3014	23,11
25	PI20-8A	20"øx1.000"W.T	245,87	12035,34	1650,7	7	500	3,3014	23,11
26	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	318,21	4454,96	1666,8	7	500	3,3336	23,34
					Total Waktu			=	4030,13

B.2.3 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada ROW 1 & 2

Waktu Pengelasan Robot Pada ROW 1 & 2									
NO 1	ITEM	Description	Weigth (LBS/FT.	Total Weight (LBS)	Panjang Las2a (mm)	Jumlah Layer	Kec Las	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	160,35	8132,95	1689,3	7	500	3,3786	23,65
2	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	160,35	9425,37	1742,5	7	500	3,485	24,40
3	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	160,35	11468,23	1901,2	7	500	3,8024	26,62
4	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	160,35	10053,95	1823,8	7	500	3,6476	25,53
5	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	197,1	1971,00	1567,4	7	500	3,1348	21,94
6	PI20-1C	20"øx1.000"W.T	102,73	5424,14	1820,4	7	500	3,6408	25,49
7	PI20-2C	20"øx1.000"W.T	102,73	6293,24	1898,3	7	500	3,7966	26,58
8	PI20-3C	20"øx1.000"W.T	102,73	7355,47	2142,4	7	500	4,2848	29,99
9	PI20-4C	20"øx1.000"W.T	102,73	6416,52	2021,5	7	500	4,043	28,30
10	PI20-1D	20"øx1.000"W.T	160,35	1603,53	1598,3	7	500	3,1966	22,38
11	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	116,09	6549,80	1739,6	7	500	3,4792	24,35
12	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	116,09	7569,07	1801,7	7	500	3,6034	25,22
13	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	116,09	8644,06	1991,3	7	500	3,9826	27,88
14	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	116,09	7555,14	1898,3	7	500	3,7966	26,58
15	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	149,20	1492,00	1573,7	7	500	3,1474	22,03
16	PI20-1A	20"øx1.000"W.T	245,87	14958,73	1674,9	7	500	3,3498	23,45
17	PI20-2A	20"øx1.000"W.T	245,87	17269,91	1724,9	7	500	3,4498	24,15
18	PI20-3A	20"øx1.000"W.T	245,87	19433,56	1874,9	7	500	3,7498	26,25
19	PI20-4A	20"øx1.000"W.T	245,87	16979,78	1801,7	7	500	3,6034	25,22
20	PI20-1B	20"øx1.000"W.T	318,21	3392,12	1570,6	7	500	3,1412	21,99
					Total Waktu			=	501,99

B.2.4 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada Horizontal Brace ROW A & B

Horizontal brace ROW A & B						
No	Description	length Las -las a (mm)	Jumlah Layer Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
11	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
12	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
13	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
14	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
15	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
16	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
17	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
18	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
19	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
20	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
			Total Waktu		=	407,51

B.2.5 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada Horizontal Brace Leg A1 & A2

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2						
No	Description	length(mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	7	500	2,9108	20,38
			Total Waktu		=	203,76

B.2.6 Perhitungan Waktu Pengelasan Menggunakan Robot Pada Horizontal 90° Brace Leg B1 & B2

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2						
No	Description	length(mm)	Jumlah Layer	Kec Las (mm/min)	t Pengelasan 1 rot (min)	Total Waktu (min)
1	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
2	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
3	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
4	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
5	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
6	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
7	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
8	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
9	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
10	20"øx1.000"W.T	1449,6	7	500	2,8992	20,29
			Total Waktu		=	202,94

LAMPIRAN C
Perhitungan Kapasitas Produksi Pengelasan

Lampiran C.1 Perhitungan Kapasitas Produksi Pengelasan Konvensional

C.1.1 Bengkel Fabrikasi Pipa

Welding Machine		
Berat Baja	:	700 ton
	:	2800 dia-inch
Durasi pengerjaan	:	3 bulan
	:	119 hari
Beban kerja	:	23,53 dia-inch/hari
	:	3,92 dia-inch/jam
waktu mesin bekerja	:	6 jam/hari
	:	360 menit/hari
Kecepatan Mesin	:	3,1 dia-inch/hari
Kebutuhan Mesin	:	7,59 mesin
	:	8 mesin

Fabrikasi Pipa		
Overhead Crane 5 Ton		
Berat Baja	:	700 ton
Berat Pipa rata-rata	:	2 ton
Jumlah	:	1523 Piece
Durasi	:	4 bulan
Waktu Penyelesaian	:	88 hari
Beban Kerja	:	7,95 ton/hari
	:	1,14 ton/jam
waktu mesin bekerja	:	6 jam/hari
	:	360 menit/hari
Kapasitas Mesin	:	15 menit/lonjor
	:	24 lonjor/hari
Kebutuhan Mesin	:	0,72 mesin
	:	1 mesin

C.1.2 Bengkel Assembly Area

ASSEMBLY AREA		
Welding Machine		
Berat Baja	:	440 ton
Durasi pengerjaan	:	5 bulan
	:	119 hari
Beban kerja	:	3,70 ton/hari
waktu mesin bekerja	:	6 jam/hari
	:	360 menit/hari
Produktifitas	:	0,12 ton/jam
Kebutuhan Mesin	:	5,14 mesin
	:	5 mesin

Assembly		
Mobile Crane 15 Ton		
Berat Baja	:	440 ton
Durasi	:	6 bulan
Waktu Penyelesaian	:	132 hari
Jam efektif total	:	792 jam
Beban Kerja	:	3,33 ton/hari
	:	0,56 ton/jam
Berat Pipa per Lonjor	:	2,36 ton
Berat Pelat rata-rata	:	0,90 ton
Berat Profile rata-rata	:	0,08 ton
waktu mesin bekerja	:	6,00 jam/hari
	:	360 menit/hari
Kecepatan mesin	:	30 menit/proses angkat
	:	120 ton/hari
Kebutuhan Mesin	:	0,03 mesin
	:	1 mesin

C.1.3 Bengkel Erection Area

ERECTION AREA		
<u>Welding Machine</u>		
Berat Baja	: 700	ton
Durasi pengerjaan	: 6	bulan
	: 120	hari
Beban kerja	: 5,83	ton/hari
waktu mesin bekerja	: 6	jam/hari
	: 360	menit/hari
Produktifitas	: 0,12	ton/jam
Kebutuhan Mesin	: 8,10	mesin
	: 8	<u>mesin</u>

Erection Area		
<u>Mobile Crane 25 Ton</u>		
Berat Baja	: 700	ton
Durasi	: 6	bulan
Waktu Penyelesaian	: 132	hari
Jam efektif total	: 792	jam
Beban Kerja	: 5,30	ton/hari
	: 0,88	ton/jam
Berat Pipa per Lonjor	: 2,36	ton
Berat Pelat rata-rata	: 0,90	ton
Berat Profile rata-rata	: 0,08	ton
waktu mesin bekerja	: 6	jam/hari
	: 360	menit/hari
Kecepatan mesin	: 30	menit/proses angkat
	: 180	ton/hari
Kebutuhan Mesin	: 0,03	mesin
	: 1	<u>mesin</u>

Lampiran C.2 Perhitungan Kapasitas Produksi Pengelasan Robot

C.2.1 Bengkel Assembly Area

ASSEMBLY AREA		
<u>Robotic Welding Machine</u>		
Berat Baja	: 440	ton
Durasi pengerjaan	: 5	bulan
	: 119	hari
Beban kerja	: 3,70	ton/hari
waktu mesin bekerja	: 6	jam/hari
	: 360	menit/hari
Produktifitas	: 0,90	ton/jam
Kebutuhan Mesin	: 0,68	mesin
	: 1	<u>mesin</u>

Assembly		
<u>Mobile Crane 15 Ton</u>		
Berat Baja	: 440	ton
Durasi	: 6	bulan
Waktu Penyelesaian	: 132	hari
Jam efektif total	: 792	jam
Beban Kerja	: 3,33	ton/hari
	: 0,56	ton/jam
Berat Pipa per Lonjor	: 2,36	ton
Berat Pelat rata-rata	: 0,90	ton
Berat Profile rata-rata	: 0,08	ton
waktu mesin bekerja	: 6,00	jam/hari
	: 360	menit/hari
Kecepatan mesin	: 30	menit/proses angkat
	: 120	ton/hari
Kebutuhan Mesin	: 0,03	mesin
	: 1	<u>mesin</u>

C.2.2 Bengkel Erection Area

ERECTION AREA		
<u>Welding Machine</u>		
Berat Baja	: 700	ton
Durasi pengerjaan	: 5	bulan
	: 60	hari
Beban kerja	: 11,67	ton/hari
waktu mesin bekerja	: 6	jam/hari
	: 360	menit/hari
Produktifitas	: 0,90	ton/jam
Kebutuhan Mesin	: 2,16	mesin
	: 2	<u>mesin</u>

Erection Area		
<u>Mobile Crane 25 Ton</u>		
Berat Baja	: 700	ton
Durasi	: 6	bulan
Waktu Penyelesaian	: 132	hari
Jam efektif total	: 792	jam
Beban Kerja	: 5,30	ton/hari
	: 0,88	ton/jam
Berat Pipa per Lonjor	: 2,36	ton
Berat Pelat rata-rata	: 0,90	ton
Berat Profile rata-rata	: 0,08	ton
waktu mesin bekerja	: 6	jam/hari
	: 360	menit/hari
Kecepatan mesin	: 30	menit/proses angkat
	: 180	ton/hari
Kebutuhan Mesin	: 0,03	mesin
	: 1	<u>mesin</u>

LAMPIRAN D
Perhitungan Perbandingan Ekonomis
Penggunaan Robot dengan Konvensional

Lampiran D.1 Biaya Investasi

D.1.1 Investasi Mesin Las Robot

No	Deskripsi	Ukuran		Harga (Rupiah)		Total (Juta Rupiah)
		qty	Per			
1	Robot Welding	3	Unit	450.000.000	Rp./ unit	1.350.000.000
2	Servo Motor Controller	3	Unit	30.000.000	Rp./ unit	90.000.000
3	Power Supply	3	Unit	14.000.000	Rp./ unit	42.000.000
4	Remote Controller	3	Unit	7.000.000	Rp./ unit	21.000.000
5	Control Cable	3	Unit	2.800.000	Rp./ unit	8.400.000
6	Skid rails Robot Welding	35	Unit	154.000.000	Rp./ unit	5.390.000.000
7	Torch Welding Robot	3	Set	700.000	Rp./ Set	2.100.000
8	Nozzle Mesin Las Robot	3	Set	32.000	Rp./ Set	96.000
TOTAL						6.903.596.000

D.1.2 Investasi Mesin Las Konvensional

INVESTASI PERALATAN MESIN LAS KONVESIONAL					
No	Deskripsi	Ukuran	Per	Harga	Total (Juta Rupiah)
1	Trafo Las	29	Unit	50.000.000	1.450.000.000
2	Stang Las	29	Set	700.000	20.300.000
3	Hendle on/off	29	Set	650.000	18.850.000
4	Pengatur Arus Pengelasan	29	Unit	112.000.000	3.248.000.000
5	Tang Masa dan Kabel Elektrode	29	Set	320.000	9.280.000
6	Torch Welding	29	Set	630.000	18.270.000
7	Nozzle	29	Set	22.000	638.000
TOTAL					4.765.338.000

Lampiran D.2 Perbandingan Biaya Kelistrikan

Biaya Listrik Mesin Las Robot		
Rincian	Satuan	
Jam operasi robot las per hari	6	Jam
Duty Cycle	60	%
Besar arus yang digunakan	320-500	Amps
Daya perangkat robot las	5000	Watt
Daya pemakaian listrik untuk robot las	30	kWh
Jumlah Tenaga Kerja Operator Robot Las	6	Orang
Jumlah Mesin Robot Las	3	Unit
Biaya operator robot las per hari	350.000	Rupiah
Biaya listrik per kWh	1.343	Rupiah
Biaya operasional robot las	40.289	Rupiah
Biaya overhead per hari	8.058	Rupiah
Total Biaya Listrik Robot Las per Hari	48.347	Rupiah
Total Biaya Listrik Robot Pertahun	38.291.046	Rupiah

Total Biaya Listrik Las Konvensional per Hari		
Rincian	Satuan	
Jam operasi welder per las hari	6	Jam
Duty Cycle	45	%
Besar arus yang digunakan	300 -350	Amps
Daya perangkat robot las	3000	Watt
Daya pemakaian listrik untuk robot las	18	kWh
Jumlah Welder	29	Unit
Jumlah Mesin Las	29	Unit
Biaya tenaga kerja per hari	300.000	Rupiah
Biaya listrik per kWh	1.343	Rupiah
Biaya operasional robot las	24.174	Rupiah
Biaya overhead per hari	4.835	Rupiah
Total Biaya Listrik mesin las konvensional per Hari	29.008	Rupiah
Total Biaya Listrik mesin las konvensional per Tahun	222.088.065	Rupiah

Lampiran D.3 Perbandingan Biaya Pemeliharaan

Biaya Pemeliharaan Mesin Las Robot			
Nama Barang	Jumlah Unit	Harga/Unit	Harga Total
Maintenance Axial Rotor	3	10.000.000	30.000.000
Ganti Konektor Kabel Plug Las	3	140.000	420.000
Ganti Torch Las	3	630.000	1.890.000
Maintenance Lengan Robot	3	200.000	600.000
Maintenance Servo Motor	3	10.000.000	30.000.000
Service Railway Slider	5	10.000.000	50.000.000
Ganti Kontaktip	3	27.000	81.000
Ganti Spiral	3	22.000	66.000
Ganti Nozzle	3	32.000	96.000
Jumlah			113.153.000

Biaya Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			
Nama Barang	Jumlah Unit	Harga/Unit	Harga Total
Maintenance Trafo	29	5.000.000	145.000.000
Ganti Selenoid Valve	29	3.000.000	87.000.000
Maintenance Fan (Kipas Pnedingin)	29	1.700.000	49.300.000
Maintenance Dinamo Mesin Las	29	4.455.000	129.195.000
Ganti Kontaktip	29	27.000	783.000
Ganti Spiral	29	22.000	638.000
Ganti Nozzle	29	32.000	928.000
Ganti Regulator	29	630.000	18.270.000
Jumlah			431.114.000

Lampiran D.4 Perbandingan Biaya Pengelesan

D.4.1 Jumlah Welder dan Biaya Pengelasan Perjoin untuk pengelasan Mesin Las Robot

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Diagonal Brace ROW A			
1 Mesin Robot Las / hari	=	57.540	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	250.503	mm
Jumlah Operator Robot las	=	4,353548836	
Jadi opeartor robot	=	2,176774418	orang
Jadi Operator Robot		2	
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	761.871	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	201.133.956	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	137	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Diagonal Brace ROW 1 & 2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	57.540	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	286.854	mm
Jumlah Operator Robot las	=	4,98529023	
Jadi opeartor robot	=	2,49264512	orang
Jadi Operator Robot		2	
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	872.426	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	230.320.409	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	137	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW B			
1 Mesin Robot Las / hari	=	114.240	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	221.221	mm
Jumlah Operator Robot las	=	1,936456583	
Jadi opeartor robot	=	2	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	700.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	184.800.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	272	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW B			
1 Mesin Robot Las / hari	=	114.240	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	221.221	mm
Jumlah Operator Robot las	=	1,936456583	
Jadi opeartor robot	=	2	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	700.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	184.800.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	272	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW A1 & A2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	114.240	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	116.432	mm
Jumlah Operator Robot las	=	1,0191877	
Jadi opeartor robot	=	1	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	350.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	92.400.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	272	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW B1 & B2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	114.240	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	115.968	mm
Jumlah Operator Robot las	=	1,0151261	
Jadi opeartor robot	=	1	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	350.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	92.400.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	50.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	272	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	350.000	/hari

D.4.2 Jumlah Welder dan Biaya Pengelasan Perjoin untuk pengelasan Konvensional

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Diagonal Brace ROW A			
1 Mesin Robot Las / hari	=	35.700	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	250.503	mm
Jumlah Welder las	=	7,016896359	
Jadi opeartor robot	=	7	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	1.176.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	310.464.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	85	mm/menit
Gaji Welder/hari	=	168.000	/hari

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Diagonal Brace ROW B			
1 Mesin Robot Las / hari	=	35.700	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	262.930	mm
Jumlah Welder las	=	6,7328	
Jadi opeartor robot	=	6	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	1.008.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	266.112.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	85	mm/menit
Gaji Welder/hari	=	168.000	/hari

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Diagonal Brace ROW 1 & 2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	35.700	mm/hari
total las2an yang harus terpenuh	=	286.854	mm
Jumlah Welder las	=	6,4583	
Jadi opeartor robot	=	6	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	1.008.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	266.112.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	85	mm/menit
Gaji Welder/hari	=	168.000	/hari

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW B			
1 Mesin Robot Las / hari	=	57.540	mm/hari
total las2an yang harus terpenuh	=	221.221	mm
Jumlah Welder las	=	6,376	
Jadi opeartor robot	=	6	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	1.008.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	266.112.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	137	mm/menit
Gaji Welder/hari	=	168.000	/hari

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW A1 & A2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	57.540	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	116.432	mm
Jumlah Welder las	=	2,023496698	
Jadi opeartor robot	=	2	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	336.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	88.704.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	137	mm/menit
Gaji Welder/hari	=	168.000	/hari

Data Jumlah Welder Yang di Butuhkan Horizontal Brace ROW B1 & B2			
1 Mesin Robot Las / hari	=	57.540	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	115.968	mm
Jumlah Welder las	=	2,015432742	
Jadi opeartor robot	=	2	orang
Biaya Welder yang dibutuhkan	=	336.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Welder dalam 1 tahun	=	88.704.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	24.000	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	137	mm/menit

D.4.3 Jumlah Welder dan Biaya Pengelasan Perjoin untuk pengelasan Konvensional Pada Leg

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Leg Elevation ROW A			
1 Mesin Robot Las / hari	=	91.560	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	500.229	mm
Jumlah Operator Robot las	=	5,463402359	
Jadi opeartor robot	=	5	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	1.500.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	396.000.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	42.857	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	218	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	300.000	/hari

Data Jumlah Operartor Yang di Butuhkan Leg Elevation ROW B			
1 Mesin Robot Las / hari	=	91.560	mm/hari
total las2an yang harus terpenuhi	=	375.172	mm
Jumlah Operator Robot las	=	4,097551769	
Jadi opeartor robot	=	4	orang
Biaya Operator Robot yang dibutuhkan	=	1.200.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya Operator Robot dalam 1 tahun	=	316.800.000	Jika Full 7 jam hari kerja
Biaya welder per JO	=	42.857	rupiah/ jam
Kecepatan las rata2 di WPS	=	218	mm/menit
Gaji Operator Robot/hari	=	300.000	/hari

D.4.4 Biaya Pengelasan Robot Per Modul

Diagonal Brace Elevation ROW A									
NO	ITEM	Description	Length las2an	Length las2an	Jumlah	Panjang Las 1 Join	Waktu las per Joint	Harga las perjoint	Biaya total
			(mm)	(m)	Layer	(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1553,4	1,55	8	12.427	91	75.591	19.956.088
2	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	101	84.015	22.179.854
3	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	101	84.015	22.179.854
4	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	1,60	8	12.835	94	78.073	20.611.270
5	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	94	78.394	20.696.058
6	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	94	78.394	20.696.058
7	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	108	90.010	23.762.569
8	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	108	90.010	23.762.569
9	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	1,57	8	12.565	92	76.428	20.177.051
10	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	91	76.000	20.064.000
11	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	91	76.000	20.064.000
12	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	102	84.881	22.408.526
13	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	102	84.881	22.408.526
14	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	1,59	8	12.758	93	77.601	20.486.657
15	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	89	73.844	19.494.891
16	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	89	73.844	19.494.891
17	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	96	80.326	21.206.073
18	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	96	80.326	21.206.073
19	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	1,67	8	13.334	97	81.109	21.412.905
	Jumlah Total		31312,9			250.503	1.828	1.523.742	402.267.912

Diagonal Brace Elevation ROW B									
NO	ITEM	Description	Length las2an	Length las2an	Jumlah	Panjang Las	Waktu las per	Harga las perjoint	Biaya total
			(mm)	(m)	Layer				
1	PI16-5A	20"øx1.000"W.T	1553,4	1,55	8	12.427	91	75.591	19.956.088
2	PI16-6A	20"øx1.000"W.T	1553,4	1,55	8	12.427	91	75.591	19.956.088
3	PI16-7A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	101	84.015	22.179.854
4	PI16-8A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	101	84.015	22.179.854
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	1,60	8	12.835	94	78.073	20.611.270
6	PI16-5C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	94	78.394	20.696.058
7	PI16-6C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	94	78.394	20.696.058
8	PI16-7C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	108	90.010	23.762.569
9	PI16-8C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	108	90.010	23.762.569
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	1,57	8	12.565	92	76.428	20.177.051
11	PI18-5A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	91	76.000	20.064.000
12	PI18-6A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	91	76.000	20.064.000
13	PI18-7A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	102	84.881	22.408.526
14	PI18-8A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	102	84.881	22.408.526
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	1,59	8	12.758	93	77.601	20.486.657
16	PI24-5A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	89	73.844	19.494.891
17	PI24-6A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	89	73.844	19.494.891
18	PI24-7A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	96	80.326	21.206.073
19	PI24-8A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	96	80.326	21.206.073
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	1,67	8	13.334	97	81.109	21.412.905
	Jumlah Total					262.930	1.919	1.599.333	422.224.000

Diagonal Brace Elevation ROW 1 & 2									
NO	ITEM	Description	Panjang Las2an (mm)	Panjang Las2an (m)	Jumlah Layer	Panjang Las 1 Join	Waktu las per Joint	Harga las perjoint	Biaya total
1	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	1689,3	1,69	8	13514,4	99	82.204	21.701.956
2	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1742,5	1,74	8	13940	102	84.793	22.385.401
3	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1901,2	1,90	8	15209,6	111	92.516	24.424.175
4	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1823,8	1,82	8	14590,4	106	88.749	23.429.839
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1567,4	1,57	8	12539,2	92	76.273	20.135.942
6	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1820,4	1,82	8	14563,2	106	88.584	23.386.161
7	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1898,3	1,90	8	15186,4	111	92.375	24.386.920
8	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	2142,4	2,14	8	17139,2	125	104.253	27.522.803
9	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	2021,5	2,02	8	16172	118	98.370	25.969.635
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1598,3	1,60	8	12786,4	93	77.776	20.532.905
11	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1739,6	1,74	8	13916,8	102	84.652	22.348.146
12	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1801,7	1,80	8	14413,6	105	87.674	23.145.927
13	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1991,3	1,99	8	15930,4	116	96.900	25.581.664
14	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1898,3	1,90	8	15186,4	111	92.375	24.386.920
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1573,7	1,57	8	12589,6	92	76.579	20.216.876
16	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1674,9	1,67	8	13399,2	98	81.504	21.516.964
17	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1724,9	1,72	8	13799,2	101	83.937	22.159.299
18	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1874,9	1,87	8	14999,2	109	91.236	24.086.307
19	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1801,7	1,80	8	14413,6	105	87.674	23.145.927
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1570,6	1,57	8	12564,8	92	76.428	20.177.051
Jumlah Total						286.854	2.094	1.744.852	460.640.818

Horizontal Brace ROW A & B							
No	Description	length(mm)	length(m)	Panjang Las 1 Join	ctu las per	Harga las perjoint	Biaya total
				(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
11	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
12	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
13	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
14	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
15	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
16	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
17	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
18	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
19	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
				221.221	1.615	1.345.625	355.245.080

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2							
No	Description	length(mm)	length(m)	Panjang Las 1 Join	Waktu las per	Harga las perjoint	Biaya total
				(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	11.643	85	70.822	18.697.109
				116.432	850	708.224	186.971.095

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2							
No	Description	length(mm)	length(m)	Panjang Las 1 Join	Waktu las	Harga las perjoint	Biaya total
				(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
2	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
3	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
4	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
5	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
6	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
7	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
8	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
9	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
10	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	11.597	85	70.540	18.622.599
				115.968	846	705.401	186.225.985

D.4.5 Biaya Pengelasan Mesin Konvensional Per Modul

Diagonal Brace Elevation ROW A								
NO	ITEM	Description	Length las2an	Jumlah	Panjang Las 1 Join	Waktu las per Joint	Harga las perjoint	Biaya total
			(m)	Layer	(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1,55	8	12.427	146	104.430	27.569.587
2	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1,73	8	13.812	162	116.067	30.641.748
3	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1,73	8	13.812	162	116.067	30.641.748
4	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1,60	8	12.835	151	107.859	28.474.729
5	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1,61	8	12.888	152	108.303	28.591.866
6	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1,61	8	12.888	152	108.303	28.591.866
7	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	1,85	8	14.798	174	124.350	32.828.289
8	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	1,85	8	14.798	174	124.350	32.828.289
9	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1,57	8	12.565	148	105.587	27.874.850
10	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1,56	8	12.494	147	104.995	27.718.669
11	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1,56	8	12.494	147	104.995	27.718.669
12	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1,74	8	13.954	164	117.264	30.957.661
13	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1,74	8	13.954	164	117.264	30.957.661
14	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1,59	8	12.758	150	107.207	28.302.575
15	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1,52	8	12.140	143	102.017	26.932.437
16	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1,52	8	12.140	143	102.017	26.932.437
17	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1,65	8	13.206	155	110.971	29.296.457
18	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1,65	8	13.206	155	110.971	29.296.457
19	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1,67	8	13.334	157	112.054	29.582.198
	Jumlah Total				250.503	2.947	2.105.069	555.738.192

Diagonal Brace Elevation ROW B									
NO	ITEM	Description	Length las2an	Length las2an	Jumlah	Panjang Las	Waktu las per	Harga las perjoint	Biaya total
			(mm)	(m)	Layer				
1	PI16-5A	20"øx1.000"W.T	1553,4	1,55	8	12.427	146	104.430	27.569.587
2	PI16-6A	20"øx1.000"W.T	1553,4	1,55	8	12.427	146	104.430	27.569.587
3	PI16-7A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	162	116.067	30.641.748
4	PI16-8A	20"øx1.000"W.T	1726,5	1,73	8	13.812	162	116.067	30.641.748
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1604,4	1,60	8	12.835	151	107.859	28.474.729
6	PI16-5C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	152	108.303	28.591.866
7	PI16-6C	20"øx1.000"W.T	1611	1,61	8	12.888	152	108.303	28.591.866
8	PI16-7C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	174	124.350	32.828.289
9	PI16-8C	20"øx1.000"W.T	1849,7	1,85	8	14.798	174	124.350	32.828.289
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1570,6	1,57	8	12.565	148	105.587	27.874.850
11	PI18-5A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	147	104.995	27.718.669
12	PI18-6A	20"øx1.000"W.T	1561,8	1,56	8	12.494	147	104.995	27.718.669
13	PI18-7A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	164	117.264	30.957.661
14	PI18-8A	20"øx1.000"W.T	1744,3	1,74	8	13.954	164	117.264	30.957.661
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1594,7	1,59	8	12.758	150	107.207	28.302.575
16	PI24-5A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	143	102.017	26.932.437
17	PI24-6A	20"øx1.000"W.T	1517,5	1,52	8	12.140	143	102.017	26.932.437
18	PI24-7A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	155	110.971	29.296.457
19	PI24-8A	20"øx1.000"W.T	1650,7	1,65	8	13.206	155	110.971	29.296.457
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1666,8	1,67	8	13.334	157	112.054	29.582.198
	Jumlah Total					262.930	3.093	2.209.499	583.307.778

Diagonal Brace Elevation ROW 1 & 2								
NO	ITEM	Description	Panjang Las2an (m)	Jumlah Layer	Panjang Las 1 Join	Waktu las per Joint	Harga las perjoint	Biaya total
1	PI16-1A	20"øx1.000"W.T	1,69	8	13514,4	159	113.566	29.981.526
2	PI16-2A	20"øx1.000"W.T	1,74	8	13940	164	117.143	30.925.714
3	PI16-3A	20"øx1.000"W.T	1,90	8	15209,6	179	127.812	33.742.306
4	PI16-4A	20"øx1.000"W.T	1,82	8	14590,4	172	122.608	32.368.618
5	PI16-1B	20"øx1.000"W.T	1,57	8	12539,2	148	105.371	27.818.057
6	PI16-1C	20"øx1.000"W.T	1,82	8	14563,2	171	122.380	32.308.276
7	PI16-2C	20"øx1.000"W.T	1,90	8	15186,4	179	127.617	33.690.837
8	PI16-3C	20"øx1.000"W.T	2,14	8	17139,2	202	144.027	38.023.099
9	PI16-4C	20"øx1.000"W.T	2,02	8	16172	190	135.899	35.877.378
10	PI16-1D	20"øx1.000"W.T	1,60	8	12786,4	150	107.449	28.366.467
11	PI18-1A	20"øx1.000"W.T	1,74	8	13916,8	164	116.948	30.874.245
12	PI18-2A	20"øx1.000"W.T	1,80	8	14413,6	170	121.123	31.976.390
13	PI18-3A	20"øx1.000"W.T	1,99	8	15930,4	187	133.869	35.341.392
14	PI18-4A	20"øx1.000"W.T	1,90	8	15186,4	179	127.617	33.690.837
15	PI18-1B	20"øx1.000"W.T	1,57	8	12589,6	148	105.795	27.929.869
16	PI24-1A	20"øx1.000"W.T	1,67	8	13399,2	158	112.598	29.725.956
17	PI24-2A	20"øx1.000"W.T	1,72	8	13799,2	162	115.960	30.613.351
18	PI24-3A	20"øx1.000"W.T	1,87	8	14999,2	176	126.044	33.275.536
19	PI24-4A	20"øx1.000"W.T	1,80	8	14413,6	170	121.123	31.976.390
20	PI24-1B	20"øx1.000"W.T	1,57	8	12564,8	148	105.587	27.874.850
	Jumlah Total				286.854	3.375	2.410.534	636.381.096

Horizontal Brace ROW A & B								
No	Description	length(mm)	length(m)	Jumlah	Panjang Las	Waktu las	Harga las perjoint	Biaya total
				Layer	(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
11	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
12	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
13	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
14	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
15	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
16	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
17	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
18	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
19	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
					221.221	2.603	1.858.998	490.775.556

Horizontal Brace Join LEG A1 & A2								
No	Description	length(mm)	length(m)	Jumlah	Panjang Las 1	Waktu las per	Harga las perjoint	Biaya total
				Layer	(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
2	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
3	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
4	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
5	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
6	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
7	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
8	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
9	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
10	20"øx1.000"W.T	1455,4	1,46	8	11.643	137	97.842	25.830.292
					116.432	1.370	978.420	258.302.924

Horizontal brace LEG 90° TEGAK LURUS B1 & B2								
No	Description	length(mm)	length(m)	Jumlah	Panjang Las	Waktu las	Harga las perjoint	Biaya total
				Layer	(mm)	(menit)	Rupiah	Rupiah
1	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
2	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
3	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
4	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
5	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
6	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
7	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
8	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
9	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
10	20"øx1.000"W.T	1449,6	1,45	8	11.597	136	97.452	25.727.355
					115.968	1.364	974.521	257.273.546

D.4.6 Perbandingan Biaya Pengelasan Seluruh Join

Biaya Pengelasan Welder Konvensional dan Pengelasan Robot						
Pengelasan Konvensional Pada Leg			Jumlah	Dikerjakan	Volume Pekerjaan	
	1. Leg Elevation ROW A	=	Rp 432.701.467	5 Welder		
	2. Leg Elevation ROW B	=	Rp 324.526.100	4 Welder		
Jumlah Total			Rp 757.227.567	9 Welder		27,32%
Total Biaya Pengelasan Mesin Las Robot Pada Seluruh Brace						
Pengelasan Robot Pada Brace			Jumlah	Jumlah		
	1. Diagonal Brace Elevation ROW A	=	Rp 402.267.912	1 Operator		
	2. Diagonal Brace Elevation ROW B	=	Rp 460.640.818	1 Operator		
	3. Diagonal Brace Elevation ROW 1 & 2	=	Rp 422.224.000	1 Operator		
	4. Horizontal Brace Elevation ROW A & B	=	Rp 355.245.080	1 Operator		
	5. Horizontal Brace Elevation ROW A1 & A2	=	Rp 186.971.095	1 Operator		
	6. Horizontal Brace Elevation ROW B1 & B2	=	Rp 186.225.985	1 Operator		
Jumlah Total			Rp 2.013.574.891			72,67%
Total Biaya Pengelasan Mesin Las Robot Konvensional						
	1. Pengelasan Leg dengan Las Konvensional (15 join)	=	Rp 757.227.567	9 Welder		
	2. Pengelasan Brace dengan Las Robot (101 join)	=	Rp 2.013.574.891	6 Operator		
Jumlah Total			Rp 2.770.802.457	15 orang		100%

Total Biaya Pengelasan Welder Konvensional						
Pengelasan Konvensional Pada Leg			Jumlah	Dikerjakan		Volume Pekerjaan
	1. Leg Elevation ROW A	=	432.701.467	4	Welder	
	2. Leg Elevation ROW B	=	324.526.100	5	Welder	
Jumlah Total			757.227.567	9	Welder	21,4 %
Total Biaya Pengelasan Brace Mesin Las Konvensional						
Pengelasan Konvensional Untuk Brace			Jumlah	Dikerjakan		
	1. Diagonal Brace Elevation ROW A	=	555.738.192	7	Welder	
	2. Diagonal Brace Elevation ROW B	=	636.381.096	6	Welder	
	3. Diagonal Brace Elevation ROW 1 & 2	=	583.307.778	6	Welder	
	4. Horizontal Brace Elevation ROW A & B	=	490.775.556	6	Welder	
	5. Horizontal Brace Elevation ROW A1 & A2	=	258.302.924	2	Welder	
	6. Horizontal Brace Elevation ROW B1 & B2	=	257.273.546	2	Welder	
Jumlah Total			2.781.779.092	29	Welder	78,6 %
Total Biaya Pengelasan Kombinasi Mesin Las Konvensional						
Total Biaya			Jumlah			
	1. Pengelasan Leg Dengan Welder Konvensional	=	757.227.567	9	Welder	
	2. Pengelasan Brace dengan Welder Konvensional	=	2.781.779.092	29	Welder	
Jumlah Total			3.539.006.659	38	Welder	100 %

Lampiran D.5 Estimasi Pendapatan Pengelasan Jacket

Biaya Pengelasan Struktur Jacket		2.013.574.890,51
Harga jual		2.013.574.890,51
Waktu Kerja		132 Hari
Target Proyek Struktur Jacket yang dikerjakan		1

PRODUK	WAKTU KERJA	HARGA	TARGET Produksi
Pengelasan Robot Struktur Jacket	132	2.013.574.890,51	1

2018	2019	2020	2021
100%	100%	100%	100%
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2022	2023	2024	2025
100%	100%	100%	100%
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2026	2027	2028	2029
100%	100%	100%	100%
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2030	2031	2032	2033
100%	100%	100%	100%
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51

2034	2035	2036	2037
100%	100%	100%	100%
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51
2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51	2.013.574.890,51

Lampiran D.6 Estimasi Pendapatanm Proyek Lain-Lain

50 % Biaya Pendapatan Pengel	50%	1.006.787.445,26
Harga jual		1.006.787.445,26
Waktu Kerja		132 Hari
Target Proyek Struktur Jacket yang dikerjakan		1

PRODUK	WAKTU KERJA	HARGA	TARGET Produksi
Pengelasan Robot Struktur Jacket	132	1.006.787.445,26	1

2018	2019	2020	2021
100%	100%	100%	100%
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
2022	2023	2024	2025
100%	100%	100%	100%
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
2026	2027	2028	2029
100%	100%	100%	100%
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
2030	2031	2032	2033
100%	100%	100%	100%
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26

2034	2035	2036	2037
100%	100%	100%	100%
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26
1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26	1.006.787.445,26

Lampiran D. 7 Biaya Operasional Pengelasan Konvensional

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan Harga/Tahun				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2018	2019	2020	2021
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Bahan Baku Material								
	- Welding Wire			175.200.000		175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0
	Pekerja								
	-Gaji Welder			1.286.208.000		1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			222.088.065		222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4
	Biaya Bahan Bakar	0%	x Pendapatan			-	-	-	-
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			431.114.000		431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0
TOTAL BIAYA LANGSUNG						2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan Harga/Tahun				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2022	2023	2024	2025
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Bahan Baku Material								
	- Welding Wire			175.200.000		175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0
	Pekerja								
	-Gaji Welder			1.286.208.000		1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			222.088.065		222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4
	Biaya Bahan Bakar	0%	x Pendapatan			-	-	-	-
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			431.114.000		431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0
TOTAL BIAYA LANGSUNG						2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan Harga/Tahun				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2026	2027	2028	2029
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Bahan Baku Material								
	- Welding Wire			175.200.000		175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0
	Pekerja								
	-Gaji Welder			1.286.208.000		1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			222.088.065		222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4
	Biaya Bahan Bakar	0%	x Pendapatan			-	-	-	-
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			431.114.000		431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0
TOTAL BIAYA LANGSUNG						2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan Harga/Tahun				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2030	2031	2032	2033
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Bahan Baku Material								
	- Welding Wire			175.200.000		175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0
	Pekerja								
	-Gaji Welder			1.286.208.000		1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			222.088.065		222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4
	Biaya Bahan Bakar	0%	x Pendapatan			-	-	-	-
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			431.114.000		431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0
TOTAL BIAYA LANGSUNG						2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan Harga/Tahun				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2034	2035	2036	2037
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Bahan Baku Material								
	- Welding Wire			175.200.000		175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0	175.200.000,0
	Pekerja								
	-Gaji Welder			1.286.208.000		1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0	1.286.208.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			222.088.065		222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4	222.088.065,4
	Biaya Bahan Bakar	0%	x Pendapatan			-	-	-	-
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional			431.114.000		431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0	431.114.000,0
TOTAL BIAYA LANGSUNG						2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4	2.114.610.065,4

Lampiran D.8 Biaya Operasional Pengelasan Robot Las

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta)	Kenaikan				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2018	2019	2020	2021
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Welding Wire			475.200.000		475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0
	Gaji Operator Robot			554.400.000		554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			38.291.046		38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Robot			113.153.000		113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0
	2. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional					-	-	-	-
BIAYA LANGSUNG						1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta)	Kenaikan				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2022	2023	2024	2025
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Welding Wire			475.200.000		475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0
	Gaji Operator Robot			554.400.000		554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			38.291.046		38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Robot			113.153.000		113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0
	2. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional					-	-	-	-
BIAYA LANGSUNG						1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta)	Kenaikan				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2026	2027	2028	2029
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Welding Wire			475.200.000		475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0
	Gahi Operator Robot			554.400.000		554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			38.291.046		38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Robot			113.153.000		113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0
	2. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional					-	-	-	-
BIAYA LANGSUNG						1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta)	Kenaikan				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2030	2031	2032	2033
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Welding Wire			475.200.000		475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0
	Gahi Operator Robot			554.400.000		554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			38.291.046		38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Robot			113.153.000		113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0
	2. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional					-	-	-	-
BIAYA LANGSUNG						1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8

No	Deskripsi	Estimasi Biaya		Biaya (juta rupiah)	Kenaikan				
BIAYA LANGSUNG		Volume				2034	2035	2036	2037
	BIAYA MATERIAL :				0%				
	Welding Wire			475.200.000		475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0	475.200.000,0
	Gahi Operator Robot			554.400.000		554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0	554.400.000,0
	BIAYA UTILITY								
	Listrik			38.291.046		38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8	38.291.045,8
	Biaya Pemeliharaan Fasilitas Pengelasan								
	1. Pemeliharaan Mesin Las Robot			113.153.000		113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0	113.153.000,0
	2. Pemeliharaan Mesin Las Konvensional					-	-	-	-
BIAYA LANGSUNG						1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8	1.181.044.045,8

Lampiran D.9 Biaya Pengeluaran dan Pemasukan Robot Pengelasan

Description			Years to Year				
			2017 0	2018 1	2019 2	2020 3	2021 4
Dana Awal							
No.							
Modal Sendiri			6.903.596.000,00				
Total I			6.903.596.000,00				
Investasi							
1. Mesin Las Robot			6.903.596.000,00				
			-				
Total II			6.903.596.000,00				
Arus Kas				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Discount Factor	8%	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	
Presen Value (Arus Kas* DF)				1.512.376.951,83	1.633.367.107,98	1.764.036.476,61	1.905.159.394,74
Akumulasi Arus Kas				1.512.376.951,83	3.145.744.059,81	4.909.780.536,42	6.814.939.931,16
NPV Pertahun				(5.391.219.048,17)	(3.757.851.940,19)	(1.993.815.463,58)	(88.656.068,84)
Uang Masuk							
Pendapatan							
Saving Biaya Oprasional				933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65
Saving Biaya Oprasional Proyek Lain	50%			466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82
Akumulasi Pendapatan				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Uang Keluar							
1. Biaya Langsung			-				
Listrik				(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)
Pemeliharaan				(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)
gaji Operator Robot las				(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)
Weldiing Wire				(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Investasi							
1. Investasi ulang Peralatan Mesin Las			-	-	-	-	-
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Keuangan							
Pembayaran							
Total Biaya Operasional				(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)

Description			Years to Year				
			2017 0	2022 5	2023 6	2024 7	2025 8
Dana Awal							
No.							
Modal Sendiri			6.903.596.000,00				
Total I			6.903.596.000,00				
Investasi							
1. Mesin Las Robot			6.903.596.000,00				
			-				
Total II			6.903.596.000,00				
Arus Kas				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Discount Factor		8%	1,00	0,68	0,63	0,58	0,54
Presen Value (Arus Kas* DF)				2.057.572.146,32	2.222.177.918,03	2.399.952.151,47	2.591.948.323,59
Akumuasi Arus Kas				8.872.512.077,49	11.094.689.995,52	13.494.642.146,99	16.086.590.470,57
NPV Pertahun				1.968.916.077,49	4.191.093.995,52	6.591.046.146,99	9.182.994.470,57
Uang Masuk							
Pendapatan							
Saving Biaya Oprasional				933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65
Saving Biaya Oprasional Proyek Lain		50%		466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82
Akumulasi Pendapatan				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Uang Keluar							
1. Biaya Langsung			-				
Listrik				(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)
Pemeliharaan				(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)
gaji Operator Robot las				(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)
Weldiing Wire				(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Investasi							
1. Investasi ulang Peralatan Mesin Las			-		-	-	-
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Keuangan							
Pembayaran							
Total Biaya Operasional				(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)

Description			Years to Year				
			2017	2026	2027	2028	2029
			0	9	10	11	12
Dana Awal							
No.							
Modal Sendiri			6.903.596.000,00				
Total I			6.903.596.000,00				
Investasi							
1. Mesin Las Robot			6.903.596.000,00				
			-				
Total II			6.903.596.000,00				
Arus Kas				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Discount Factor		8%	1,00	0,50	0,46	0,43	0,40
Presen Value (Arus Kas* DF)				2.799.304.189,48	3.023.248.524,63	3.265.108.406,60	3.526.317.079,13
Akumuasi Arus Kas				18.885.894.660,05	21.909.143.184,68	25.174.251.591,29	28.700.568.670,42
NPV Pertahun				11.982.298.660,05	15.005.547.184,68	18.270.655.591,29	21.796.972.670,42
Uang Masuk							
Pendapatan							
Saving Biaya Oprasional				933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65
Saving Biaya Oprasional Proyek Lain		50%		466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82
Akumulasi Pendapatan				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Uang Keluar							
1. Biaya Langsung			-				
Listrik				(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)
Pemeliharaan				(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)
gaji Operator Robot las				(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)
Weldiing Wire				(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Investasi							
1. Investasi ulang Peralatan Mesin Las			-	-		-	-
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Keuangan							
Pembayaran							
Total Biaya Operasional				(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)

Description			Years to Year				
			2017	2030	2031	2032	2033
			0	13	14	15	16
Dana Awal							
No.							
Modal Sendiri			6.903.596.000,00				
Total I			6.903.596.000,00				
Investasi							
1. Mesin Las Robot			6.903.596.000,00				
			-				
Total II			6.903.596.000,00				
Arus Kas				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Discount Factor		8%	1,00	0,37	0,34	0,32	0,29
Presen Value (Arus Kas* DF)				3.808.422.445,46	4.113.096.241,10	4.442.143.940,39	4.797.515.455,62
Akumuasi Arus Kas				32.508.991.115,89	36.622.087.356,99	41.064.231.297,37	45.861.746.752,99
NPV Pertahun				25.605.395.115,89	29.718.491.356,99	34.160.635.297,37	38.958.150.752,99
Uang Masuk							
Pendapatan							
Saving Biaya Oprasional				933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65
Saving Biaya Oprasional Proyek Lain		50%		466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82
Akumulasi Pendapatan				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47
Uang Keluar							
1. Biaya Langsung			-				
Listrik				(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)
Pemeliharaan				(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)
gaji Operator Robot las				(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)
Weldiing Wire				(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Investasi							
1. Investasi ulang Peralatan Mesin Las			-	-	-	-	-
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Keuangan							
Pembayaran							
Total Biaya Operasional				(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)

Description			Years to Year				
			2017	2034	2035	2036	2037
			0	17	18	19	20
Dana Awal							
No.							
Modal Sendiri			6.903.596.000,00				
Total I			6.903.596.000,00				
Investasi							
1. Mesin Las Robot			6.903.596.000,00				
			-				
Total II			6.903.596.000,00				
Arus Kas				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	50.180.488.528,17
Discount Factor		8%	1,00	0,27	0,25	0,23	0,21
Presen Value (Arus Kas* DF)				5.181.316.692,07	5.595.822.027,43	6.043.487.789,63	233.889.106.487,22
Akumuasi Arus Kas				51.043.063.445,06	56.638.885.472,50	62.682.373.262,13	296.571.479.749,35
NPV Pertahun				44.139.467.445,06	49.735.289.472,50	55.778.777.262,13	289.667.883.749,35
Uang Masuk							
Pendapatan							
Saving Biaya Oprasional				933.566.019,65	933.566.019,65	933.566.019,65	33.453.659.018,78
Saving Biaya Oprasional Proyek Lain		50%		466.783.009,82	466.783.009,82	466.783.009,82	16.726.829.509,39
Akumulasi Pendapatan				1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	1.400.349.029,47	50.180.488.528,17
Uang Keluar							
1. Biaya Langsung			-				
Listrik				(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)	(38.291.045,76)
Pemeliharaan				(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)	(113.153.000,00)
gaji Operator Robot las				(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)	(554.400.000,00)
Weldiing Wire				(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)	(475.200.000,00)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Investasi							
1. Investasi ulang Peralatan Mesin Las			-	-	-	-	(30.158.004.907,61)
Uang Keluar Berdasarkan Aktivitas Keuangan							
Pembayaran							
Total Biaya Operasional				(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(1.181.044.045,76)	(31.339.048.953,37)

Lampiran D.10 Selisih Biaya Operasional

Selisih Biaya Operasional`				
Tahun Ke	Konvensional	Robot	Penghematan	Akumulasi Penghematan
	(6.903.596.000)			
1	2.114.610.065	1.181.044.046	933.566.020	933.566.020
2	0,00	1.181.044.046	933.566.020	1.867.132.039
3	0,00	1.181.044.046	933.566.020	2.800.698.059
4	0,00	1.181.044.046	933.566.020	3.734.264.079
5	0,00	1.181.044.046	933.566.020	4.667.830.098
6	0,00	1.181.044.046	933.566.020	5.601.396.118
7	0,00	1.181.044.046	933.566.020	6.534.962.138
8	0,00	1.181.044.046	933.566.020	7.468.528.157
9	0,00	1.181.044.046	933.566.020	8.402.094.177
10	0,00	1.181.044.046	933.566.020	9.335.660.196
11	0,00	1.181.044.046	933.566.020	10.269.226.216
12	0,00	1.181.044.046	933.566.020	11.202.792.236
13	0,00	1.181.044.046	933.566.020	12.136.358.255
14	0,00	1.181.044.046	933.566.020	13.069.924.275
15	0,00	1.181.044.046	933.566.020	14.003.490.295
16	0,00	1.181.044.046	933.566.020	14.937.056.314
17	0,00	1.181.044.046	933.566.020	15.870.622.334
18	0,00	1.181.044.046	933.566.020	16.804.188.354
19	0,00	1.181.044.046	933.566.020	17.737.754.373
20	0,00	31.339.048.953	33.453.659.019	51.191.413.392

Lampiran D.11 Perhitungan Akumulasi Pendapatan Saving Biaya Operasional

Akumulasi Penghematan Biaya Pengelasan <i>Brace</i>					
Tahun Ke	Tahun	Biaya Penghematan Operasional Pengelasan Brace	Biaya Penghematan Pengelasan Proyek Lain-Lain	Jumlah Penghematan Pertahun	Akumulasi Penghematan Pertahun
		(6.903.596.000)			
1	2018	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	1.400.349.029
2	2019	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	2.800.698.059
3	2020	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	4.201.047.088
4	2021	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	5.601.396.118
5	2022	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	7.001.745.147
6	2023	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	8.402.094.177
7	2024	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	9.802.443.206
8	2025	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	11.202.792.236
9	2026	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	12.603.141.265
10	2027	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	14.003.490.295
11	2028	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	15.403.839.324
12	2029	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	16.804.188.354
13	2030	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	18.204.537.383
14	2031	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	19.604.886.413
15	2032	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	21.005.235.442
16	2033	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	22.405.584.472
17	2034	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	23.805.933.501
18	2035	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	25.206.282.530
19	2036	933.566.020	466.783.010	1.400.349.029	26.606.631.560
20	2037	33.453.659.019	16.726.829.509	50.180.488.528	76.787.120.088

Lampiran D.12 Perhitungan Kelayakan Investasi dengan metode NPV

				Tingkat Suku bunga	8%	
Perhitungan NPV						
Tahun Ke	Tahun	Arus Kas Pertahun	Discoun Factor	Present Value (Arus Kas/DF)	Akumulasi Pendaanatan	Akumulasi NPV
		(6.903.596.000)	1,0			
1	2018	1.400.349.029	0,93	1.512.376.952	1.512.376.952	(5.391.219.048)
2	2019	1.400.349.029	0,86	1.633.367.108	3.145.744.060	(3.757.851.940)
3	2020	1.400.349.029	0,79	1.764.036.477	4.909.780.536	(1.993.815.464)
4	2021	1.400.349.029	0,74	1.905.159.395	6.814.939.931	(88.656.069)
5	2022	1.400.349.029	0,68	2.057.572.146	8.872.512.077	1.968.916.077
6	2023	1.400.349.029	0,63	2.222.177.918	11.094.689.996	4.191.093.996
7	2024	1.400.349.029	0,58	2.399.952.151	13.494.642.147	6.591.046.147
8	2025	1.400.349.029	0,54	2.591.948.324	16.086.590.471	9.182.994.471
9	2026	1.400.349.029	0,50	2.799.304.189	18.885.894.660	11.982.298.660
10	2027	1.400.349.029	0,46	3.023.248.525	21.909.143.185	15.005.547.185
11	2028	1.400.349.029	0,43	3.265.108.407	25.174.251.591	18.270.655.591
12	2029	1.400.349.029	0,40	3.526.317.079	28.700.568.670	21.796.972.670
13	2030	1.400.349.029	0,37	3.808.422.445	32.508.991.116	25.605.395.116
14	2031	1.400.349.029	0,34	4.113.096.241	36.622.087.357	29.718.491.357
15	2032	1.400.349.029	0,32	4.442.143.940	41.064.231.297	34.160.635.297
16	2033	1.400.349.029	0,29	4.797.515.456	45.861.746.753	38.958.150.753
17	2034	1.400.349.029	0,27	5.181.316.692	51.043.063.445	44.139.467.445
18	2035	1.400.349.029	0,25	5.595.822.027	56.638.885.472	49.735.289.472
19	2036	1.400.349.029	0,23	6.043.487.790	62.682.373.262	55.778.777.262
20	2037	50.180.488.528	0,21	233.889.106.487	296.571.479.749	289.667.883.749
Total		76.787.120.088		296.571.479.749		
ROI	2.279.398.470,57					

Lampiran D.13 Perhitungan PBR, ROI

ROI (Return of Invesment)	2.279.398.470,57	
Internal Rate Return	13,43%	
Payback Periode	7,1	tahun
	7	tahun
	1	bulan
	Go Project / Layak	

BIODATA PENULIS



Febri Heru Purnomo, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Surabaya pada 2 Februari 1993 silam, Penulis merupakan anak ketiga dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Harapan bangsa Surabaya , kemudian melanjutkan ke SDN Ngagel Rejo IV Surabaya, SMP Dr. Soetomo Surabaya dan SMAN 17 Surabaya. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Industri Perkapalan. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Staf Departemen Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan 2013/2014 serta Ketua Departemen Sosial Masyarakat BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS 2014/2015. Selan itu, Penulis juga pernah kerja praktek Pertama di PT PAL Indonesia (Persero) serta kerja praktek kedua di Biro Klasifikasi Indonesia (Persero) Cabang Kota Semarang.

Penulis tercatat pernah menjurai kompetis lomba drogon boat tingkat nasional bersama tim Maritime Challenge ITS dan meraih juara 3 tingkat nasional.

Email: febriherupurnomo@gmail.com